



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB**

FAGNA MARIA SILVA CAVALCANTE

**ANOMALIAS DE CHUVA EM ANOS DE EPISÓDIOS EXTREMOS DE ENOS:
IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA CUREMAS-MÃE D' ÁGUA**

POMBAL – PB

2018

FAGNA MARIA SILVA CAVALCANTE

**ANOMALIAS DE CHUVA EM ANOS DE EPISÓDIOS EXTREMOS DE ENOS:
IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA CUREMAS-MÃE D' ÁGUA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para obtenção de título Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Prof.^a Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Pombal-PB

2018

C376a Cavalcante, Fagna Maria Silva.
Anomalias de chuva em anos de episódios extremos de ENOS:
impactos ambientais no sistema Curemas-Mãe D'Água / Fagna Maria
Silva Cavalcante. – Pombal, 2018.
66 f. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia
Agroalimentar, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira".

Referências.

1. Chuva – Anomalias – ENOS. 2. Recursos Hídricos – Impactos
Ambientais. 3. Microclima – Vegetação. 4. Sistema Curemas-Mãe
D'Água – Chuva – Impactos Ambientais. I. Nogueira, Virgínia de Fátima
Bezerra. II. Título.

CDU 551.578.1(043)

FAGNA MARIA SILVA CAVALCANTE

ANOMALIAS DE CHUVA EM ANOS DE EPISÓDIOS EXTREMOS DE ENOS:
IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA CUREMAS-MÃE D'ÁGUA

Aprovado em 27/07/2018

BANCA EXAMINADORA

Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Prof. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira
Orientadora – UFCG/Campus de Pombal – PB

Jussara Silva Dantas

Prof. Dra. Jussara Silva Dantas
Examinador Interno – UFCG/Campus de Pombal - PB

Valner da Silva Nogueira

Prof. Dr. Valner da Silva Nogueira
Examinador Externo – Campina Geotech Consultoria em Meteorologia Ltda CNPJ
22668181/0001-61

Pombal – PB

Julho 2018

“É Deus
que te faz entender toda poesia
E torna mais valiosa a vida
E prova que ainda dá pra ser feliz
Apenas atenda quem chama
E perceba que só Ele pode compreender o seu interior
E as suas dores afastar, o seu sonho realizar,
a sua vida transformar.”

(Rosa de Saron)

A ti SENHOR, dedico todas as minhas vitórias.
Aos meus pais, Maria e Francisco, e meus irmãos Fagner e Fabia.

AGRADECIMENTOS

A jornada da vida nos possibilita diversos momentos, nos quais podemos vivenciar diferentes emoções e, sobretudo, compartilhá-los com pessoas especiais. O que determina quem somos ou nos tornaremos é a forma com a qual lidamos com as situações e em que a transformamos. Afinal, o propósito da jornada não é o aprendizado e a felicidade?. E nesse momento minha felicidade é dividir esta vitória alcançada com todos vocês, família e amigos, meus mestres, com os quais aprendo a ser e a me tornar cada dia uma pessoa melhor. Por terem estado ao meu lado, me apoiando e torcendo para a realização deste sonho, agradeço:

Aos meus pais e irmãos, por todo apoio e ensinamentos que me formam para a vida e, principalmente, por estarem presentes nos momentos de maior dificuldade.

A minha orientadora, Prof.^a Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira pela paciência e por compartilhar os seus conhecimentos acadêmicos e experiências. Obrigada pela parceria e pelos ensinamentos e aprendizados que levarei sempre comigo.

A todos os meus familiares, especialmente, meus avós paternos, Ana e Joventino, maternos Francisca e José, e minha tia Adriana Ferreira da Silva que me ensinou as primeiras letras e abriu caminho para a busca de novos conhecimentos acadêmicos.

As minhas amigas Mariana, Alice, Renata, Ana Cecília e Ianka, pelos incríveis momentos de companheirismo, apoio e amizade que me dedicaram.

A todos os professores que passaram por minha vida acadêmica até esse momento, especialmente a minha professora de infância Maria Ferreira Filha Lira e os professores da Universidade Federal de Campina Grande por dividirem seus conhecimentos e contribuírem para minha formação.

A banca examinadora nas pessoas de Dr. Valner da Silva Nogueira e Dra Jussara Silva Dantas pela contribuição neste estudo e por compartilharem seus conhecimentos acadêmicos.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para esta realização. E, também, aqueles que duvidaram pois, me fizeram perceber que tenho a motivação e coragem necessária para buscar e acreditar que posso realizar meus sonhos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	32
Figura 2 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), (a) e (b) para o período do EN (1997-98).....	47
Figura 3 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a), (b), (c) e (d), para o período do LN (1998-00).....	50
Figura 4 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a) e (b) para o período do LN (2007-08).....	53
Figura 5 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a), (b) e (c) para o período do EN (2015-16).....	55

LISTA DE TABELA S

Tabela 1 - Classificação da intensidade dos fenômenos ENOS.....	21
Tabela 2 - Características dos produtos do satélite LANDSAT - 5	28
Tabela 3 - Características dos produtos do satélite LANDSAT – 8	29
Tabela 4 - Localização dos municípios e períodos de Precipitações utilizados no estudo.....	33
Tabela 5 - Período e duração dos ENOS fortes	34
Tabela 6 - Dados das imagens selecionadas	34
Tabela 7 - Classes de Intensidade dos anos secos e chuvosos extremos	36
Tabela 8 - Representação da reflectância do NDVI segundo os alvos de superfície.....	37
Tabela 9 - Parâmetros Estatísticos da precipitação média mensal para as estações dos municípios dentro da área de estudo	41
Tabela 10 - Classificação dos anos segundo o Índice de Anomalias de Chuva (IAC).....	44
Tabela 11 - Quantidade de meses para os episódios de El Niño e La Niña para cada intensidade	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação Interanual da precipitação dos municípios (a), (b), (c), (d) e (e).....	38
Gráfico 2 - Índice de Anomalias de Chuva anual para os municípios (a), (b), (c), (d) e (e) que compõem a área de estudo.....	42
Gráfico 3 -Índice de Anomalias de Chuva durante o El Niño forte (Maio/1997 - Maio/1998), fase 1.....	46
Gráfico 4 - Índice de Anomalias de Chuva, (a) e (b), durante o La Niña forte (Jul/1998 - Dez/2000), fase 1	49
Gráfico 5 - Índice de Anomalias de Chuva durante o La Niña forte (Jul/07 - Jun/08), fase 2.....	52
Gráfico 6 - Índice de Anomalias de Chuva durante o El Niño forte (Jan/2015 - Maio/2016), fase 2.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
C	Chuvoso
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
DGVM	modelos globais de vegetação dinâmica
DPN	Dipolo Atlântico Negativa
DPP	Dipolo Atlântico Positiva
EC	Extremamente Chuvoso
EM	El Niño
EMBRAPA	Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária
EN-1	El Niño fase 1
EN-2	El Niño fase 2
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
ES	Extremamente Seco
IAC	Índice de Anomalias de Chuva
IAF	Índice de Área Foliar
LI	Linhas de Instabilidade
LN	La Niña
LN-1	La Niña fase 1
LN-2	La Niña fase 2
MC	Muito Chuvoso
MS	Muito Seco
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NEB	Região Nordeste do Brasil
OL	Ondas de Leste
OLI	Operational Land Imager
ONI	Índices Oceânico do Niño
OS	Oscilação Sul
PNM	Pressão ao Nível do Mar
S	Seco
SAVI	Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo

SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UV	Radiação Ultravioleta
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

CAVALCANTE, Fagna Maria Silva. **Anomalias de Chuva em Anos de Episódios Extremos de ENOS: Impactos Ambientais no Sistema Curemas-Mãe D' Água.** 2018. 66 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

RESUMO

A pesquisa visou avaliar a ocorrência de anomalias de chuva em anos de El Niño-Oscilação sul de intensidade forte e os seus impactos ao ambiente e ao microclima no Sistema de reservatórios Curemas-Mãe D' Água. Para análise e identificação dos impactos nos parâmetros ambientais e microclima foram utilizadas o índice de Anomalias de Chuva (IAC) aplicada a uma série de dados de 23 anos extraídos de 5 estações pluviométricas e nos meses de atuação dos eventos extremos do El Niño-Oscilação sul, dentro da série estudada, e para análise espaço-temporal das mudanças na cobertura vegetal a técnica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) utilizando imagens dos satélites Landsat 5 e 8 . Os resultados mostraram a variabilidade da precipitação existente na área e a ocorrência maior de anomalias de seca anualmente e mensalmente nos períodos de atuação dos eventos fortes; e que os resultados referentes a análise do comportamento da vegetação e dos recursos hídricos demonstram a relação existente entre esses parâmetros ambientais e a ocorrências de eventos anômalos secos e chuvosos. Os impactos ambientais foram indicados a partir dos resultados dos índices e a relação que cada um desses possuía com os eventos extremos do El Niño-Oscilação sul e a presença de anomalias. Os resultados possibilitaram entender como se comportam os episódios fortes de El Niño-Oscilação sul na ocorrência de anomalias e qual a sua influência na área do Sistema Curemas-Mãe d'água e como o ambiente responde a ocorrência de mudanças e extremos do clima.

Palavras-chave: microclima, vegetação, recursos hídricos, IAC, NDVI.

CAVALCANTE, Fagna Maria Silva. **Anomalies of Rain in Years of ENSO Extreme Episodes: Environmental Impacts in the Curemas-Mãe D 'Água System.** 2018. 66 pgs. Work of Course Conclusion (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of *Campina Grande, Pombal-PB.* 2018.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the occurrence of rainfall anomalies in years of El Niño-South Oscillation of strong intensity and its impacts to the environment and the microclimate in the Curemas-Mother D 'Water Reservoir System. For the analysis and identification of the impacts on the environmental parameters and microclimate, the Rainfall Anomalies index (IAC) was applied to a series of data of 23 years extracted from 5 rainfall stations and in the months of the extreme events of El Niño-Southern Oscillation , the technique of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using images from the Landsat 5 and 8 satellites was used for the spatial and temporal analysis of the changes in the vegetation cover. The results showed the variability of the existing precipitation in the area and the greater occurrence of drought anomalies annually and monthly in the periods of strong events; and that the results referring to the analysis of the behavior of vegetation and water resources demonstrate the relationship between these environmental parameters and the occurrence of anomalous dry and rainy events. The environmental impacts were indicated by the results of the indices and the relation that each of them had with the extreme events of the El Niño-Southern Oscillation and the presence of anomalies. The results allowed us to understand how the strong episodes of El Niño-Southern Oscillation in the occurrence of anomalies and their influence in the area of the System Curemas-Mother of water behave and how the environment responds to the occurrence of changes and climatic extremes.

Keywords: microclimate, vegetation, water resources, IAC, NDVI.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Fenômenos Meteorológicos.....	18
2.2 El Niño-Oscilação Sul (ENOS).....	19
2.3 Impactos dos Eventos Climáticos Extremos sobre o Meio Ambiente	22
2.3.1 <i>Impacto das Mudanças Climáticas sobre a Precipitação Pluviométrica</i>	22
2.3.2 <i>Sobre a Vegetação</i>	23
2.3.3 <i>Recursos Hídricos</i>	23
2.4 Índice de Anomalias de Chuva (IAC).....	25
2.5 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Localização da área de estudo	32
3.2 Obtenção dos dados.....	33
3.3 Preenchimento de Falhas	34
3.4 Metodologia	35
3.4.1 <i>Índice de Anomalias de Chuva (IAC)</i>	35
3.4.2 <i>Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)</i>	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Comportamento das Precipitações Pluviométricas sobre a área de estudo	38
4.2 Índice de Anomalias de Chuvas (IAC) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	41
4.2.1 <i>El Niño forte (1997 - 98): Atuação da primeira fase do El Niño forte</i>	46
4.2.2 <i>La Niña forte (1998 – 00): Atuação da primeira fase do La Niña forte</i>	48
4.2.3 <i>La Niña forte (2007 – 08): Atuação da segunda fase do La Niña forte</i>	52

4.2.4 <i>El Niño forte (2015 - 16): Atuação da segunda fase do El Niño forte</i>	54
4.3 Impactos Ambientais.....	57
5 CONCLUSÕES	60
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e as observações da variação espaço-temporal das precipitações pluviométricas geram um conhecimento fundamental para o entendimento de fenômenos climatológicos de uma região. Os fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) são direta ou indiretamente relacionados a esta variabilidade espaço-temporal. Este fenômeno consiste de uma componente oceânica, o El Niño (EN) (aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Leste e central, próxima da costa do Peru e Equador) e de uma componente atmosférica, a Oscilação Sul (OS) (flutuação no campo de pressão entre as regiões da alta subtropical do Pacífico Sudeste e do sistema de baixa pressão Pacífico Oeste próximo ao norte da Austrália).

No Brasil, os efeitos principais relacionados ao El Niño vão desde aumento das temperaturas e chuvas no Sul e Sudeste, a secas severas no Nordeste. Enquanto que o La Niña (LN) provoca a diminuição das temperaturas e chuvas no Sul e Sudeste, e aumento das chuvas no Nordeste (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005). Na Região Nordeste do Brasil (NEB), principalmente, na sua porção semiárida, tem ganhado destaque a importância de se conhecer e monitorar as variabilidades climáticas, devido as irregularidades das chuvas e os problemas de escassez hídrica recorrentes na região.

A região semiárida nordestina sempre foi marcada pela estiagem, estando o fenômeno da seca presente desde o início da sua história (BEZERRA, 2016). A estiagem, segundo SILVEIRA et al. (2016), é um fenômeno natural no qual ocorre a escassez de água associada a períodos extremos de déficit de precipitação mais ou menos longos, que reflete negativamente sobre os ecossistemas naturais e sobre as atividades socioeconômicas. Sendo que estas podem ser intensificadas pelas mudanças climáticas, o que não é foco deste estudo.

As precipitações pluviométricas possuem características que podem atingir direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente. Atributos relacionados a sua distribuição temporal (regime sazonal, mensal, diário), volume precipitado e as intensidades com a qual ocorrem (BRITTO, BARLETA e MENDONÇA, 2006).

Neste contexto, faz-se necessário conhecer e entender o comportamento da climatologia local e assim desenvolver e planejar ações eficientes e eficazes para lidar e conviver com situações extremas da natureza. Uma vez que, a variabilidade das chuvas exerce influência sobre o meio ambiente, especialmente na paisagem e nos recursos hídricos, como um componente de controle do ciclo hidrológico (MARCUIZZO e GOULARTE, 2012).

O emprego de índices é amplamente difundido em pesquisas acadêmicas, pela variedade existente nas diversas áreas da ciência e por muitas vezes não necessitarem de muitos dados de entrada na aplicação. São bastante utilizados no sensoriamento remoto, pois distinguem diferentes superfícies gerando bons resultados, e na meteorologia com a finalidade de monitorar e gerar conhecimentos acerca de extremos climáticos, especialmente relacionados a seca.

Nesse viés, uma vez que o sistema de reservatórios Curemas-Mãe d'água é responsável por perenizar rios e tornar possível o abastecimento e o desenvolvimento socioeconômico de áreas urbanas e rurais da região, torna perceptível a necessidade de investigar o microclima local quanto a manifestação de anomalias de chuva. Para assim, conhecer e entender os impactos que estas podem causar aos parâmetros ambientais (vegetação, precipitação, recursos hídricos) da área de influência e o seu comportamento frente há anos de eventos extremos de ENOS, em razão de serem fenômenos que contribuem para a estiagem e conseqüentemente escassez hídrica que assola a população do lugar.

Posto isto, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a ocorrência de anomalias de chuva em anos de ENOS fortes e os seus impactos ao ambiente e ao microclima no Sistema de reservatórios Curemas-Mãe D' Água. E para alcançá-lo, realizou-se os seguintes objetivos específicos:

- a. Levantar e analisar dados dos postos pluviométricos presentes na área e listar os anos com episódios fortes de ENOS;
- b. Observar a incidência de períodos secos e úmidos na série pluviométrica, especialmente nos anos de ocorrência dos ENOS fortes;
- c. Determinar quantitativamente e qualitativamente a intensidade e duração dos períodos extremos (seco e úmido), através do Índice de Anomalias de Chuva (IAC);

- d. Realizar o levantamento de imagens de satélite da área de estudo, para períodos de duração dos eventos e aplicar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI);
- e. Analisar e identificar possíveis impactos nos parâmetros ambientais e microclima no sistema Curemas-Mãe D' Água, através das análises do IAC e NDVI;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fenômenos Meteorológicos

A circulação atmosférica é um dos parâmetros determinantes para as características climáticas de uma região (FERREIRA; MELLO, 2005). O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta ao longo do ano consideráveis variações na precipitação pluviométrica e temperaturas elevadas, sendo assim considerada semiárida, segundo a climatologia (AZEVEDO; SILVA; RODRIGUES, 1998).

Diversos parâmetros e sistemas meteorológicos de diferentes escalas temporal e espacial conFiguram o regime de chuvas no NEB. Dentre os quais estão a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), os Ventos Alísios, a Pressão ao Nível do Mar (PNM), as Frentes Frias, as Ondas de Leste (OL), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidade (LI), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Eventos de ENOS. Além do efeito das brisas marítimas e terrestres (MOLION; BERNARDO, 2002; NOGUEIRA, 2014).

A ZCIT é formada especialmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os vindos do sul, em baixos níveis, baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar e intensa atividade convectiva e precipitação. Sendo, portanto, uma formação de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre. A posição e intensidade da ZCIT está diretamente relacionada com a TSM presente sobre os oceanos (FERREIRA; MELLO, 2005).

A ZCIT é um sistema atmosférico muito importante na modulação e nas maiores variações sazonais das chuvas. Sendo o causador das precipitações de verão/outono e determinantes no quanto deficiente ou abundante elas serão no NEB (MARENGO, 2002; FERREIRA; MELLO, 2005).

As frentes frias ocorrem a partir do encontro de uma massa de ar densa (fria) com uma menos densa (quente). A penetração de frentes frias no NEB é outro mecanismo importante causador de chuvas. Os VCANs são definidos como um conjunto de nuvens que possuem uma forma semelhante ao um círculo girando no sentido horário, se formam no oceano Atlântico, com uma trajetória normalmente de leste para oeste (FERREIRA; MELLO, 2005).

As correntes de ar sofrem um aquecimento radioativo que as fazem subir e formar as nuvens convectivas, principalmente as cumulonimbus, e estas por sua vez podem se organizar em bandas ou linhas formando aglomerados, caracterizando um CCM tropical ou uma Linha de Instabilidade (NOGUEIRA, 2014). Os CCMs provocam chuvas isoladas, forte e de curta duração, que se formam devido as condições atmosféricas locais favoráveis como temperatura, pressão, relevo, etc. Os CCMs tropicais que atuam no NEB não requerem influência do Jato de Baixos Níveis (JBN), suas características são atribuídas especialmente ao aquecimento radioativo (ZOLMAN; ZIPSER, 1999).

As ondas de leste são originadas na faixa tropical do globo terrestre, área de influência dos ventos alísios onde há um campo de pressão atmosférica, e se deslocam desde a costa da África até o litoral Leste do Brasil (FERREIRA; MELLO, 2005).

Na região do NEB as brisas terrestres e marítimas contribuem apenas para mudar um pouco a direção e velocidade dos ventos alísios, que são intensos e atuantes nessa região o ano inteiro (FERREIRA; MELLO, 2005). Estas, se originam do aquecimento e resfriamento diferencial entre a terra e água e devido a sua pouca influência quase não são percebidas (FEDOROVA, 2001).

Além desses fenômenos, a região do NEB também é marcada pela atuação do ENOS, que desempenham uma forte contribuição para a variabilidade interanual da chuva (MARENGO et al, 2011). Eles afetam a precipitação pelas mudanças na circulação da célula de Walker (CUNHA, 1999).

2.2 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno climático causador de anomalias na temperatura da superfície do mar na região do Pacífico Equatorial. Nesta região há um padrão de circulação oceânica que torna as águas normalmente frias na costa da América do Sul, lado Leste, e, em geral, quentes no extremo oposto, Oeste, na região da Indonésia e costa da Austrália, isso em função dos ventos alísios, que ocorrem preminentemente no Hemisfério Sul vindos de sudeste. Esta configuração resulta em uma influência sobre a região conhecida como célula de Walker no sentido Leste-Oeste, provocando uma diferença de pressão e

circulação secundária na atmosfera. A circulação atmosférica gera uma diferença no regime de chuvas na parte Leste e Oeste do Oceano Pacífico, ou seja, no leste, costa da América do Sul, as chuvas ocorrem de forma escassa e no Oeste torna as chuvas mais frequentes (CUNHA, 1999).

O fenômeno ENOS apresenta uma fase quente/positiva e a fase fria/negativa. A fase quente ou fase positiva do ENOS é chamada de El Niño (EN), caracterizada por um aquecimento simultâneo das águas com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste. A fase fria ou fase negativa é o La Niña (LN), no qual ocorre um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; BERLATO; FONTANA, 2003). O monitoramento e a caracterização do ENOS são feitos através de Índices de Oscilação da Pressão Atmosférica e TSM.

Em condições de EN a célula de Walker se desloca para o Pacífico Leste ocorrendo o aquecimento anômalo da superfície do mar, resultando no movimento descendente de ar sobre a bacia centro-oeste e sobre o Atlântico Equatorial, incluindo a Amazônia Oriental e o Nordeste do Brasil (NOBREGA; SANTIAGO, 2014). Isso devido ao enfraquecimento dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial. Fazendo com que a costa da América do Sul tenha chuvas acima da normalidade, devido a ascensão do ar na região tropical do Oceano Pacífico. Quando se tem a presença do LN, as condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico se intensificam produzindo chuvas abaixo do normal na América do Sul (BERLATO; FONTANA, 2003).

Durante a ocorrência dos ENOS pode-se observar diferentes tipos de impactos na América do Sul. Estes impactos são responsáveis, muitas vezes, por gerarem diferentes tipos de transtornos para os habitantes da região, os quais podem afetar a qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento econômico.

Com a atuação do EN no continente percebe-se um aumento na precipitação pluviométrica e conseqüentemente maiores vazões nos rios da Colômbia, Equador e noroeste do Peru. Períodos Secos no anti-planalto Peru-Bolívia. No Brasil é perceptível especialmente na precipitação pluviométrica que ocorre nas regiões Sul, Norte e Nordeste e no aumento moderado das temperaturas no Centro-Oeste e Sudeste. No Sul as Chuvas acontecem acima da média climatológica e no Norte e

Nordeste há uma diminuição aumentando a ocorrência de riscos a incêndios florestais (FERREIRA, 2005).

Durante o LN, há incidência de enchentes em virtude das chuvas abundantes na Colômbia. Na porção Oeste do Chile e da Argentina de outubro a dezembro a precipitação diminui. No Uruguai e Peru tem-se a ocorrência de secas intensas efeito, também, da diminuição das chuvas. No Brasil verifica-se o contrário do que ocorre no EN. Com precipitações acima da média no Norte e Nordeste e, portanto, aumentos na vazão dos rios, e secas no Sul. Sudeste e Centro-Oeste não se tem efeitos tão previsíveis variando de uma ocorrência para outra (MARENGO; OLIVEIRA, 1998; BERLATO; FONTANA, 2003; CPTEC, 2018, Texto digital).

Os fenômenos EL e LN possuem diferentes intensidades de anomalias na temperatura. A determinação da intensidade dos fenômenos ENOS (El Niño e La Niña) é baseado no índice ONI (Oceanic Niño Index ou Índices Oceânico do Niño). O ONI é calculado mediante o uso de médias trimestrais móveis (DJF, JFM, FMA, etc.) de anomalias de TSM na região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W, sobre o Pacífico Equatorial Tropical). A classificação dos eventos de EN ou LN, é feita de acordo com o ONI em forte, moderado e fraco, baseado no período que ultrapassou o limite crítico da TSM e não no valor médio, Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da intensidade dos fenômenos ENOS

EVENTO	VALOR DO ONI ¹	INTENSIDADE
EL NIÑO	0,5 a 0,9	Fraca
	1,0 a 1,4	Moderada
	≥ 1,5	Forte
LA NIÑA	-0,5 a -0,9	Fraca
	-1,0 a -1,4	Moderada
	≤ -1,5	Forte

¹Nota: ONI é a média dos Índices Oceânico do Niño.

Fonte: Golden Gate Weather Services (2018).

Os ENOS, dependendo da intensidade e período do ano em que ocorrem são um dos responsáveis pelos períodos secos e chuvosos de uma região, principalmente se estes ocorrem em conjunto com as fases do dipolo do Atlântico (diferença entre a anomalia da TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), Dipolo Atlântico Positiva (DPP) e Dipolo Atlântico Negativa (DPN). Sendo anos considerados secos ou muito secos, pela atuação do EN com a fase

DPN, ou normal, chuvosos ou muito chuvosos, em consequência do LN com a fase DPP (ARAGÃO, 1998; FERREIRA; MELLO, 2005).

2.3 Impactos dos Eventos Climáticos Extremos sobre o Meio Ambiente

Os eventos climáticos extremos, segundo Marengo (2009), surgem em formas de secas prolongadas, chuvas intensas, enchentes, tufões, ondas de calor e frio, tornados. A exemplo de evento extremo no Brasil, o furacão Catarina que causou inúmeros problemas ambientais e sociais na região Sul. Na Amazônia, em algumas áreas, ocorrência de diminuição dos níveis fluviais e aumento de incêndios florestais de causa natural.

Na academia mundial há diversos debates sobre mudanças climáticas, eventos extremos e desastres. Isso, ocorre por efeito das projeções apontarem mudanças do clima em nível mundial e, conseqüentemente, aumento na frequência de eventos extremos. E, por esses eventos contribuírem para aumentar a gravidade dos desastres naturais, desencadeando impactos ambientais e sociais em médio e longo prazo (MARENGO, 2008 e 2009).

Segundo Dias (2014), os causadores de eventos extremos mais conhecidos são os fenômenos ENOS (El Niño e La Niña). E a referência a eventos extremos relacionados as variantes climáticas indica tendência de eventos chuvosos e secos, quentes e frios.

2.3.1 Impacto das Mudanças Climáticas sobre a Precipitação Pluviométrica

Os eventos extremos associados a precipitação pluviométrica podem alterar as características habituais de uma dada região, gerando transtornos ambientais e sociais. As pesquisas sobre mudanças climáticas têm demonstrado o aumento da ocorrência de chuvas intensas e secas meteorológicas severas, a exemplo dos estudos de Marengo et al. (2011 e 2016).

Salazar (2009), cita que os grandes impactos negativos, decorrentes desses eventos, sobre a população ocorrem em áreas onde há uma maior vulnerabilidade as mudanças climáticas. Essa vulnerabilidade afeta o volume disponível nos reservatórios e o desenvolvimento da paisagem. A vegetação produz efeitos na

qualidade e quantidade de água que chega aos reservatórios e na evapotranspiração necessária pelo ciclo hidrológico.

No NEB há poucos trabalhos que apresentem conhecimentos sobre impactos das mudanças climáticas na região.

2.3.2 Sobre a Vegetação

A vegetação e o clima interagem entre si em diferentes escalas espaciais e temporais. A escala espacial varia desde micrometeorológicas até a escala global, e temporal de segundos até séculos (SALAZZAR, 2009).

Diversos estudos baseados em observações, mostram que o equilíbrio entre o clima e a vegetação na porção semiárida do NEB possui uma fragilidade que pode ser afetada por ligeiras mudanças climáticas. Por consequência, possibilita a ocorrência de fortes impactos sobre a vegetação predominante na região. A temperatura, a precipitação e a concentração de CO₂ são os componentes básicos que influenciam as características de um bioma. A medida que algum desses é afetado, conseqüentemente o bioma também sofre mudanças (NOBRE et al.,2011).

Estudos com modelos globais de vegetação dinâmica (DGVM) mostram tendência de efeitos na vegetação devido a efeitos do clima (anomalias de temperatura e precipitação). Projeções para a Amazônia mostram, que a diminuição da precipitação e aumento da estação seca poderiam ocasionar mudança da vegetação existente, por uma mais resistente aos estresses climáticos e ao fogo recorrente nos períodos de seca. E para o NEB o cenário é de risco a aridização devido as mudanças climáticas (SALAZZAR et al, 2007; SALAZZAR, 2009).

O conhecimento de impactos clima-vegetação é escasso na região do NEB, sobretudo pela pouca quantidade de estudos relacionados a impactos de mudanças climáticas sobre essa área.

2.3.3 Recursos Hídricos

A região semiárida do NEB é caracterizada por solos rasos, altas temperatura média anual, altas perdas de água por evaporação, e regime pluviométrico com grande variabilidade interanual. Por consequência, a disponibilidade hídrica é

relativamente afetada, em razão do efeito causado pela TSM nos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical que regulam a ZCIT, principal agente causador das chuvas nessa região (NOBRE et al.,2011).

Em geral, a disponibilidade hídrica para uma região provém da precipitação pluviométrica ou de sistemas de água subterrânea. No entanto, devido à dificuldade de acesso as águas subterrâneas, o suprimento a demanda de água fica sobre as precipitações. Conforme Nobre et al (2011), essa disponibilidade depende do regime de chuvas e das características físicas do solo, os quais, por sua vez, sofrem influência das condições climáticas.

A água proveniente das chuvas fica armazenada em reservatórios naturais ou artificiais, e disponível para as diversas demandas existentes na região. Os Reservatórios são construções que existem na natureza, formados espontaneamente pelos processos geológicos de formação da Terra. Segundo Araújo (2012), os principais reservatórios de água disponíveis na natureza são os rios, os aquíferos e o solo. Quando esses são insuficientes ou ausentes para a demanda atual em uma área, introduz-se naquele local os chamados reservatórios artificiais, visando a potencialização da disponibilidade dos recursos hídricos.

Os reservatórios artificiais vêm sendo construídos pelo homem ao longo dos anos. São criados para exercerem as funções de abastecimento de água, irrigação, navegação, prevenção de enchentes, pesca e aquicultura, lazer e turismo e geração de energia. No entanto, suas características variam dependendo da sua área inundada, volume de acumulação e, especialmente, da função a qual se destina (PINTO-COELHO e HAVENS, 2016).

No estado da Paraíba, por exemplo, o sistema Curemas-Mãe D' Água, sistema formado pela junção de dois reservatórios artificiais, é o principal responsável por perenizar os rios Piancó e Piranhas, ambos intermitentes em condições naturais. O Açude Curemas possui uma capacidade total de acumulação igual a 591.646.222 m³ de água e o Açude Mãe D' Água um volume igual a 567.999.136 m³. Juntos o açude Curemas e os rios Piancó (trecho barragem – rio Piranhas) e Piranhas (trecho rio Piancó – Jardim de Piranhas/RN) são responsáveis por atender uma população urbana de mais de 350 mil habitantes, em cidades da Paraíba e Rio Grande do Norte, e comunidades rurais. Além de desempenhar papel importante no abastecimento de água para a população, é fundamental para o

desenvolvimento da região, sendo o responsável pelo atendimento a demandas de irrigação difusa, aquicultura em tanques escavados e a indústria, mesmo que em menor escala (AESAs, 2018, texto digital).

Marengo (2009), expõem uma proporcionalidade entre as precipitações e a disponibilidade de água armazenada nessas áreas, ou seja, com diminuição das chuvas ocorre a redução na vazão dos rios e nas reservas de água potável. Se continuar a ocorrer redução das precipitações e o aumento da evapotranspiração e das temperaturas, como indicam as projeções climáticas, o déficit hidrológico no NEB pode crescer (MARENGO, 2008). Por conseguinte, acarretará diversos transtornos, especialmente, aos habitantes da região.

2.4 Índice de Anomalias de Chuva (IAC)

O entendimento sobre o comportamento das precipitações pluviométricas é indispensável para o desenvolvimento de uma região, tanto economicamente quanto socialmente. De acordo com Marcuzzo e Goularte (2012), analisar o seu comportamento permite identificar variações, alterações ou tendências climáticas em escala local, regional, estadual, nacional e/ou continental.

As chuvas são um dos elementos fundamentais para o conhecimento das características de uma área. Em razão da sua função de agente de controle do ciclo hidrológico e por ser uma variável com papel significativo na transformação do meio ambiente (MARCUIZZO; GOULARTE, 2012). Visto isso, é perceptível a importância da realização de estudos que proporcionem cada vez mais o conhecimento sobre a ocorrência e distribuição das precipitações pluviométricas.

Da Silva (2009), explica que a adoção de índices climáticos permite a observação de características importantes para o entendimento dos períodos secos ou chuvosos, a partir de informações anuais, sazonais ou mensais. Estes índices proporcionam a identificação de impactos sobre a distribuição pluviométrica, pelo fato de viabilizarem o conhecimento da climatologia de uma região.

Os índices são utilizados, principalmente, em sistemas de monitoramento de secas em áreas semiáridas, como a região do NEB. Eles podem, além de ajudar no monitoramento, medir a severidade de um período seco (FREITAS, 1998). O Índice

de Anomalias de Chuva (IAC) é um dos métodos que está sendo muito utilizado nos dias atuais.

O IAC desenvolvido por Rooy em 1965, e adaptado por Freitas (2004), é empregado ao sistema de monitoramento com o viés de tornar o desvio da precipitação em relação a condição normal de diversas regiões passíveis de comparação. Nos últimos anos vem sendo muito utilizado no desenvolvimento de estudos em diversas regiões do Brasil.

Freitas (2004 e 2005), percebeu que o índice é uma ferramenta capaz de fazer comparação entre as condições atuais de chuvas em uma região relacionando-as com valores históricos, e assim avaliar a intensidade e a distribuição espacial delas. Isso ficou constatado após aplica-lo em diversas localidades no Estado do Ceará.

O estudo desenvolvido por Repelli et al. (1998), também no estado do Ceará, apontou que o IAC é apropriado para a análise do clima de áreas semiáridas e/ou tropicais, sobretudo no NEB. Logo, diversos autores passaram a empregar esse método para o desenvolvimento de estudos, para assim entender melhor a climatologia local das regiões Brasileiras, principalmente nas áreas semiáridas.

De acordo com Araújo et al. (2009), um ponto a ser definido para utilização de um índice como esse, está na escolha de um patamar a ser estabelecido para a definição de um período de seca e cheias.

Da Silva (2009), realizou uma análise de períodos de cheias e secas para a bacia do rio Itapirucu (Estado da Bahia), com base em critérios nos quais: o ano seria considerado úmido, caso durante o “período de chuvas” na região, o total precipitado fosse maior do que a média a longo prazo mais 50% deste valor; um ano seria dito seco, se a precipitação estivesse abaixo da média menos 50% da mesma; porém, caso a precipitação estivesse entre esses limites, o ano seria dito como normal. E este não deve ser escolhido arbitrariamente, mas com base no conhecimento climático da região.

Araújo et al. (2009), realizou por meio do IAC uma análise climática da Bacia do Rio Paraíba, observando a influência da variabilidade climática na precipitação local e de que forma se dá a variabilidade espaço-temporal das chuvas na região. Dessa forma, encontrou uma semelhança entre o padrão de precipitação da região do Taperoá e Alto Paraíba e das sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba.

Gonçalves et al. (2006), aplicou o IAC em 15 estações localizadas no rio São Francisco, e obteve uma maior incidência de anos secos naquela região. Na mesma área, só que a jusante da hidrelétrica de Sobradinho entendera, através do índice, as cheias e inundações ocorridas no sertão de Pernambuco.

Gross e Cassol (2015), estudaram as ocorrências de anomalias de chuvas negativos no estado do Rio Grande do Sul. Utilizaram 57 estações distribuídas dentro do estado e por meio da interpolação por Krigagem mostraram a frequência absoluta mensal em que ocorreram o IAC negativo em cada município e por setor regional do estado. A maior incidência foi encontrada no setor Sudoeste do Rio Grande do Sul, especialmente no verão, outono e inverno.

Para quantificação dos efeitos decorrentes de precipitações intensas, é necessário entender o comportamento e a variabilidade temporal dessas chuvas. Esse conhecimento proporciona o controle do escoamento superficial de áreas urbanas e rurais e minimização dos custos com a agricultura (CRUCIANI; MACHADO; SENTELHAS, 2002).

2.5 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

No monitoramento ambiental é amplamente empregado ferramentas de geotecnologias, por fornecerem informações, facilitarem a aquisição e manipulação de dados de alvos de difícil acesso, além de possibilitarem a constante atualização de informações aéreas (AZEVEDO; MANGABEIRA, 2001).

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta da geotecnologia que inclui técnicas, procedimentos de análise e equipamentos para expandir a percepção sensorial na análise de imagens de satélite. Permite uma análise de um modelo da superfície de uma determinada área, graças a facilidade de se obter informações em regiões do espectro eletromagnético que não podem ser vistos pela visão humana (BATISTA; DIAS, 2005).

Segundo Azevedo e Mangabeira (2001), a aplicação do SR tem inúmeras vantagens: baixo custo na análise por área específica; aspecto repetitivo de alta frequência e sincronizado na captação de imagens; aspecto multiespectral das imagens; digitalização das informações adquiridas; e, facilidade no processamento e

integração com dados geocodificados, cartoGráficos ou numéricos, com sistemas de informações geográficas (SIGs).

De acordo com Batista e Dias (2005), os dados incorporados as imagens espaciais podem sofrer interferência das condições atmosféricas. Pois, a condição da atmosfera faz com que a radiação se espalhe ou seja absorvida antes de atingir a Terra. Se houver presença de partículas na atmosfera ocasionara interferência na leitura dos alvos pelo sensor do satélite, em razão da radiação necessária para a leitura não chegar aos alvos na superfície terrestre ou não voltar ao sensor para a completa observação dos dados. A interpretação dos dados ocorre por reflexão, absorção ou transmissão das feições dos alvos da Terra. A radiação Ultravioleta (UV) é pouco usada no SR, por isso é importante a preservação da camada de Ozônio para absorção da radiação prejudicial aos seres vivos.

Os sensores a bordo dos satélites são responsáveis pela captação das características dos alvos na Terra e, assim, fornecer subsídios ao mapeamento dos recursos naturais existentes na superfície terrestre. Os produtos dos satélites Landsat-5, com sensor TM (Thematic Mapper), e Landsat-8, com os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), são muito utilizados em pesquisas de análise ambiental.

O satélite Landsat-5 TM, como mostra a Tabela 2, operou com 7 bandas espectrais gerando produtos nas faixas do visível, infravermelho próximo, médio e termal (EMBRAPA, 2018).

Tabela 2 - Características dos produtos do satélite LANDSAT - 5

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.52 - 0.60 μm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 μm	120 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 μm				

Fonte: EMBRAPA (2018).

O satélite Landsat-8 OLI/TIRS possui bandas espectrais gerando produtos nas faixas do visível, infravermelho próximo, de ondas curtas e termal, além de uma banda pancromática (EMBRAPA, 2018), Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos produtos do satélite LANDSAT – 8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm	15 m			
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	30 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	100 m			
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) LWIR - 1	10.30 - 11.30 μm				
	(B11) LWIR - 2	11.50 - 12.50 μm				

Fonte: EMBRAPA (2018).

Cada alvo terrestre interage com a radiação de forma distinta. A vegetação reflete em maior quantidade a radiação Infravermelho Próximo e absorve da radiação visível, uma parcela maior do azul e do vermelho, e uma menor do verde. A água absorve e transmite o infravermelho e reflete pouca radiação. O solo tem sua interpretação feita de acordo com cada tipo existente na área a ser analisada. De forma geral, solos e materiais com ausência de vegetação refletem a radiação visível e infravermelho (BATISTA; DIAS, 2005).

Na atualidade, esse tipo de informação vem sendo cada vez mais utilizado em pesquisas nas mais diversas áreas do conhecimento. Permite o mapeamento, classificação e observação dos parâmetros ambientais e meteorológicos. Aliados ao SR, tem-se usado índices de vegetação para análise de imagens espaciais, a exemplo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF).

Existe uma gama de trabalhos envolvendo o uso de índices de vegetação para análises ambientais. Em virtude da evolução que se tem no fornecimento de dados, facilidade do acesso a software que permitem processamento e análise, e especialmente pela visão espacial que se tem da paisagem/área da qual se pretende obter resultados.

O NDVI é um índice de vegetação da Razão Simples com normalização para o intervalo de -1 a +1, foi proposto por Rouse et al. em 1973. Essa normalização é encontrada a partir da relação entre as medidas espectrais da banda infravermelho próximo e a vermelha, favorecendo a resposta espectral para visualização da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). É um índice que possibilita caracterizar a distribuição e identificar a presença de vegetação em uma área e ainda verificar a sua evolução com o decorrer do tempo (LOBATO et al., 2010).

Avaliações espaço-temporal a partir de imagens de satélite e fotografias aéreas mostram prováveis alterações em áreas de vegetação. O NDVI é um índice capaz de fornecer resultados com base em medidas espectrais avaliando quantitativamente e qualitativamente fatores relacionados diretamente a cobertura vegetal, como biomassa e dinâmica entre o solo e a vegetação (LOURENÇO; LANDIM, 2004), além de distinguir superfícies aquáticas.

Barbosa et al. (2017), fez uso do NDVI para analisar e mapear a distribuição da cobertura vegetal da região Serrana de Martins e Portalegre no Rio Grande do Norte, como uma forma de subsidiar a conservação dos recursos naturais ali presentes. E os resultados encontrados mostram a influência do clima devido a existência de uma zona fitogeográfica ao longo de gradientes altitudinais e gradientes ambientais influenciados pela umidade no solo em riachos e nascentes perenes. Mostrou também o predomínio de frutíferas permanentes e áreas antrópicas na superfície tubular das serras.

Oliveira e Freitas (2015), realizam uma análise da vegetação aplicando o NDVI e correlacionaram os resultados com dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí-PA utilizando imagens Landsat-5 TM. Com isso, perceberam que este índice se mostra uma ferramenta importante na avaliação de parâmetros físicos das bacias hidrográficas, devido a cobertura vegetal representar um componente da regulação do clima e dos parâmetros hidrológicos.

No entanto, Oliveira e Freitas (2015), observaram prejuízos a pesquisa em virtude da carência de informações sobre os parâmetros físicos de campo. Contudo, faz-se necessário que haja registros e disponibilidade de séries de dados físicos consistentes, medidos em campo, para uma investigação eficiente da influência da vegetação sobre os parâmetros físicos do ambiente.

Dias e Mangabeira (2001), realizou o mapeamento das terras utilizando processamento digital de imagens de sensoriamento remoto com as imagens do Landsat-7 TM. No qual, observaram que existem limitações na classificação digital e, que é preciso selecionar um conjunto de amostras criteriosamente e temas que apresentem comportamento espectral distinto com uma forma homogênea e com razoáveis extensões de áreas.

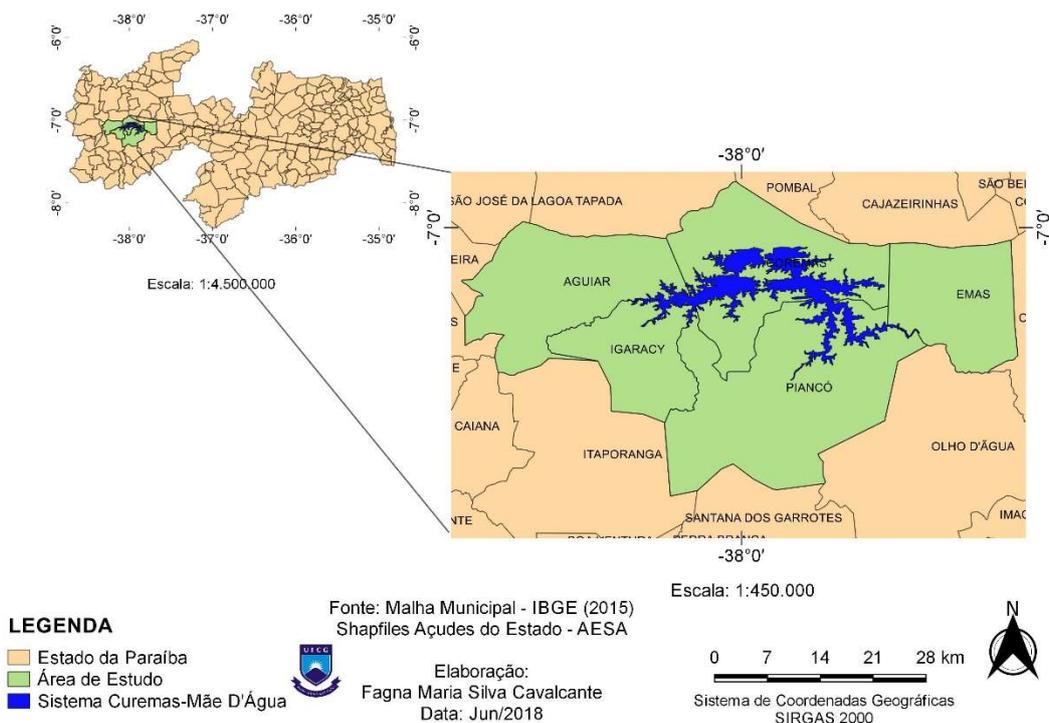
Gamarra et al. (2016), fez uso do NDVI na análise da dinâmica da paisagem e efetividade da proteção de uma unidade de conservação de proteção integral no cerrado. Perceberam a partir do estudo a eficiência da metodologia e a redução de tempo e custo na análise ambiental. E, que este pode ser replicado em outras regiões do cerrado com características semelhantes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo, com 1744.66 Km², compreende a extensão do sistema de reservatórios Curemas-Mãe D'água, formado pela junção da Barragem Estevam Marinho e Barragem Egberto Carneiro da Cunha, conhecidos, respectivamente, como Açudes Curemas e Mãe d' Água. Localizado no sertão, porção semiárida do estado da Paraíba, ocupando uma extensão territorial que interliga os municípios de Piancó, Coremas, Aguiar, Emas e Igaracy.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O semiárido paraibano possui uma variabilidade espaço-temporal e índices pluviométricos que variam em torno de 400 mm/ano (MOLION; BERNARDO, 2002). Caracterizado pelo bioma Caatinga, com grande variedade de matas (caatinga densa e arbustiva, por exemplo) e mecanismos adaptativos as condições climáticas regionais, e marcado por secas severas e escassez hídrica.

3.2 Obtenção dos dados

A coleta de dados de precipitação das estações dentro da área que compreende o sistema Curemas-Mãe D'Água foram obtidos junto a Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba (AESA), na plataforma HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) e Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A Tabela 4, contém informações sobre os municípios presentes na área de estudo e suas respectivas série de precipitação utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

Tabela 4 - Localização dos municípios e períodos de Precipitações utilizados no estudo

ID	Município	Código	Latitude	Longitude	altitude	Série Histórica	Período Estudado
1	Aguiar	2500205	-07 05 31	-38 10 10	262	1911-1990	1995-2017
2	Coremas	2504801	-07 00 52	-37 56 45	218	1911-1990	1995-2017
3	Emas	2505907	-07 06 20	-37 42 55	268	1994-2017	1995-2017
4	Igaracy	2502607	-07 10 50	-38 08 55	313	1995-2017	1995-2017
5	Piancó	2511301	-07 11 53	-37 55 45	269	1911-1990	1995-2017

Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2018).

Ressalta-se, que a série histórica para as localidades não possuem o mesmo tamanho devido a carência de dados pluviométricos para a região. Em consequência disso, utilizou-se as maiores séries de dados encontradas para cada local inserido na área de estudo, uma vez que as cidades de Emas e Igaracy não possuem uma série completa de 30 anos. Para o período estudado todos os municípios possuem 23 anos de dados.

A observação da ocorrência de ENOS e a identificação dos eventos intensos, no período analisado em cada município, se deu junto ao site Golden Gate Weather Services. As informações nele contidas, é baseado no Índice Oceânico do Niño (ONI).

Na Tabela 5, tem-se o período de ocorrência e a duração das fases fortes de ENOS presentes na série investigada.

Tabela 5 - Período e duração dos ENOS fortes

Fenômeno	Período	Duração
El Niño	1997-98	Mai/97 - Mai/98
La Niña	1998-00	Jul/98 - Dez/00
La Niña	2007-08	Jul/07 - Jun/08
El Niño	2015-16	Jan/15 - Mai/16

Fonte: Criado pela autora com dados extraídos de National Weather Service, (2018).

As imagens de satélite foram adquiridas no site USGS – Science for a Changing World, Earth Explorer. Sendo na Tabela 6, indicado as imagens selecionadas para cada fase forte de EN e LN fortes do período analisado.

Tabela 6 - Dados das imagens selecionadas

Fenômeno	Período	Satélite	Orbita	Ponto	Imagem	Imagem	Imagem	Imagem
					1	2	3	4
El Niño	1997-98	Landsat 5-TM	216	65	Mai/97	Nov/97	-	-
La Niña	1998-00	Landsat 5-TM	216	65	Dez/98	Out/99	Jan/00	Set/00
La Niña	2007-08	Landsat 5-TM	216	65	Jul/07	Fev/08	-	-
El Niño	2015-16	Landsat 8 OLI/TIRS	216	65	Mai/15	Dez/15	Mai/16	-

Fonte: Elaborada pela autora com dados do National Weather Service e USGS (2018)

O critério de escolha das imagens, relacionou-se com o período inicial e final do evento e a sua intensidade forte. Destaca-se, que o número de imagens escolhidas para cada evento forte são proporcionais ao seu período de duração, ou seja, quanto maior a duração maior o número de imagens selecionadas.

3.3 Preenchimento de Falhas

Nos registros de precipitações pluviométricas mensais, caso haja falhas, realiza-se o preenchimento pelo método da ponderação regional. Utiliza-se para o procedimento a equação:

$$Y = \frac{1}{3} \left[\frac{M_E}{M_A} * A + \frac{M_E}{M_B} * B + \frac{M_E}{M_C} * C \right]$$

Onde: Y= é a precipitação do posto a ser estimada; A, B e C = são as precipitações correspondentes aos meses que se deseja preencher, observado em

três estações vizinhas; M_E = Precipitação média do posto Y; M_A , M_B e M_C = Precipitação média nos três postos vizinhos.

3.4 Metodologia

3.4.1 Índice de Anomalias de Chuva (IAC)

O IAC utiliza as informações de precipitação para avaliação do grau de severidade e duração dos períodos secos e úmidos de uma área (FREITAS 2004 e 2005), obtido a partir das equações:

- I. $IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right]$, para anomalias positivas;
- II. $IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]$, para anomalias negativas.

Sendo:

N = Precipitação mensal/anual atual (mm)

\bar{N} = Precipitação média mensal/anual da série histórica (mm);

\bar{M} = Média das dez maiores precipitações mensais/anuais da série histórica (mm)

\bar{X} = Média das dez menores precipitações mensais/anuais da série histórica (mm).

Para identificar os anos úmidos ou secos dentro do período de estudo utiliza-se as séries de precipitação mensal das estações, buscando adquirir os parâmetros necessários para o cálculo do IAC. O ano/mês será considerado úmido, caso durante o “período de chuvas” na região, o total precipitado for maior que a média a longo prazo mais 50% deste valor; um ano/mês será dito seco, se a precipitação estiver abaixo da média menos 50% da mesma; porém, caso a precipitação estiver entre esses limites, o ano será dito normal.

A análise pelo IAC é realizada anualmente e mensalmente. Anualmente em toda a série estudada, de 23 anos, e mensalmente apenas no período de ocorrência dos eventos fortes do ENOS. Nos anos de ocorrência dos episódios tido como fortes, dentro do período de 1995 a 2017, avalia-se os dados na duração do evento,

ou seja, a determinação da classe de intensidade é verificada para cada mês em que o fenômeno permaneceu atuante.

Fundamentado na metodologia de Freitas (2004 e 2005), a classificação dos resultados com relação aos períodos secos e úmidos será de acordo com as classes indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Classes de Intensidade dos anos secos e chuvosos extremos

	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	De 4 acima	Extremamente Chuvoso (EC)
	2 a 4	Muito Chuvoso (MC)
	0 a 2	Chuvoso (C)
	0	Normal (N)
	0 a -2	Seco (S)
	-2 a -4	Muito Seco (MS)
	De -4 abaixo	Extremamente Seco (ES)

Fonte: Adaptado de Freitas (2004, 2005).

3.4.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde, com valores variando de -1 a +1. Para superfícies com presença de alguma vegetação o NDVI varia entre 0 e 1. Em superfícies de água e nuvens geralmente é menor que 0.

O NDVI é calculado pela razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo (ρ_{IV}) e o vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas.

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Satélite Landsat 5 – TM e as bandas 5 e 4 do Landsat 8 OLI/TIRS.

O tratamento, preparação das imagens e cálculo do índice sendo executado mediante utilização do software livre Qgis 2.18.20.

A classificação dos intervalos resultantes do cálculo do NDVI será em conformidade com a Tabela 8, na qual se identifica os alvos de superfície para cada classe e respectivo intervalo.

Tabela 8 - Representação da reflectância do NDVI segundo os alvos de superfície

Classes	Intervalos da Refletância do NDVI	Alvos de superfície
1	-1 a 0	Corpos D'Água
2	0 a 0,40	Áreas Sem Vegetação
3	0,40 a 1	Vegetação

Fonte: Adaptado de LIMA e FILHO (2015).

Salienta-se, que a cor azul corresponde a presença de água, laranja representa possível presença de vegetação rasteira, vegetação seca e folhagens, áreas com solo exposto, centros urbanos ou, eventual, contaminação residual por nuvens e verde a presença de vegetação.

Realiza-se a identificação dos impactos no ambiente por meio da análise dos produtos gerados pelo NDVI que tenham relação com as anomalias de chuva. Nas imagens obtidas verifica-se: a presença de parâmetros ambientais vegetação, água e solo exposto; sua distribuição na área; e sua evolução no decorrer da atuação dos eventos fortes do ENOS.

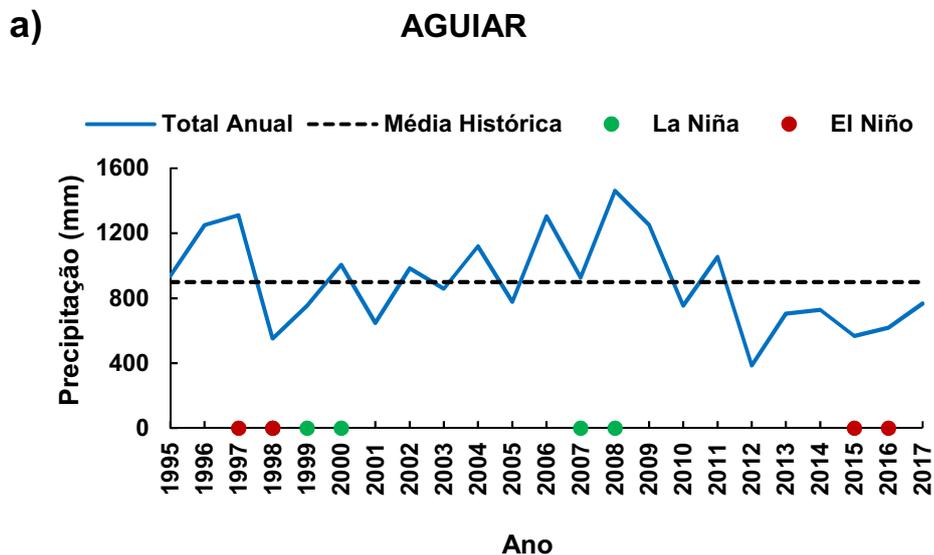
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

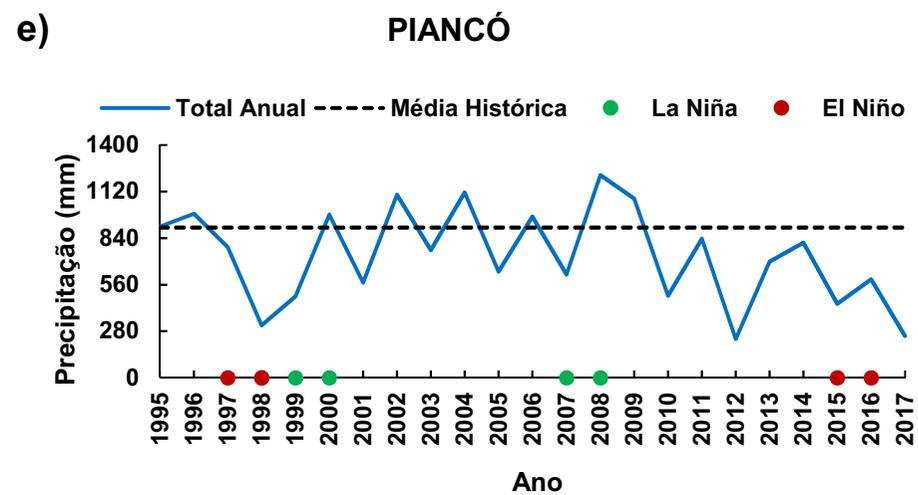
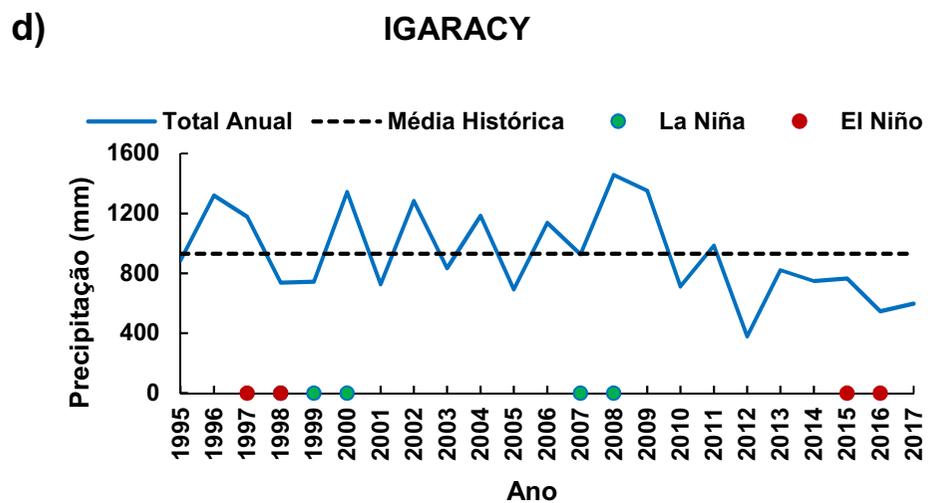
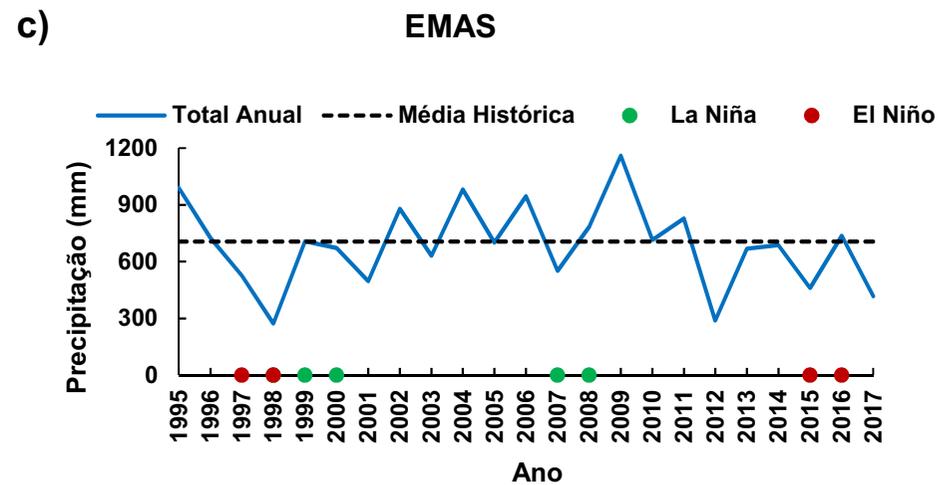
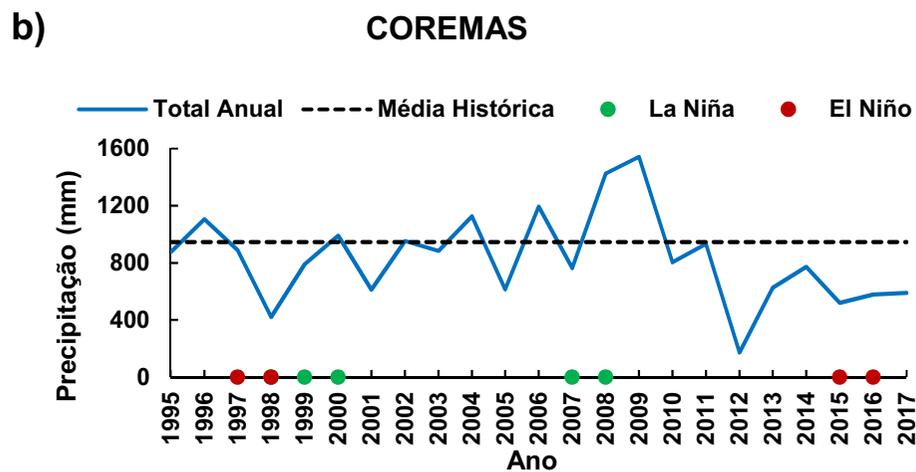
4.1 Comportamento das Precipitações Pluviométricas sobre a área de estudo

Analisando o comportamento das precipitações anuais ao longo do período estudado verifica-se, Gráficos 1a, 1b, 1c, 1d e 1e, que os municípios de Aguiar e Emas apresentaram a maior frequência de anos com precipitações anuais igual ou acima da média histórica. No período estudado tem-se a atuação de quatro episódios de eventos fortes do ENOS, dois El Niños (1997-98 e 2015-16) e duas La Niñas (1998-00 e 2007-08).

Os maiores pontos de inflexão das series foram em 2008, para Aguiar, Igaracy e Piancó, e 2009, para Coremas e Emas. Em 2008 e 2009 o acumulado de chuva atingiu os picos ao longo ou após uma fase de La Niña forte.

Gráfico 1 - Variação Interanual da precipitação dos municípios (a), (b), (c), (d) e (e)





Fonte: Autoria Própria (2018).

Diante dos ENOS fortes, em 1997, ano em que se iniciou o El Niño fase1 (EN-1), a precipitação anual apresentou-se acima da média nos municípios de Aguiar e Igaracy, e abaixo para os demais. Em 1998, fim do EN-1 e começo do La Niña fase1 (LN-1), o volume precipitado foi inferior à média em todas as localidades, e 1999 apenas Emas obteve acumulado igual a média, as demais continuaram com valores inferiores. Em 2000, final do LN-1, os valores foram superiores em Aguiar, Igaracy e Coremas, com destaque para Igaracy com o maior valor, nas outras observa-se o oposto.

No ano de 2007, início do La Niña fase 2 (LN-2), a precipitação apresentou-se maior ou igual a média histórica em Aguiar e Igaracy, e inferior nos outros locais analisados. Em 2008, termino do LN-2, observou-se valor superior nos demais municípios. No El Niño fase 2 (EN-2), 2015-16, as precipitações anuais foram abaixo da média em todos os locais, para o ano inicial do evento, e acima em 2016 apenas no município de Emas.

O sinal do El Niño e do La Niña normalmente não são muito claros sobre o NEB, devido a ação continua simultânea de fenômenos de macro e meso escala. No entanto, é perfeitamente claro um padrão verificado no campo da precipitação de todos os postos associados aos modos de variabilidade climática global. Observa-se tanto nos episódios longos de EN e LN uma ordem crescente da diminuição das chuvas e crescente do aumento das chuvas, respectivamente. Isto está de acordo com a literatura que sustenta a conclusão que o período de máximo desenvolvimento e maior influência do EN e do LN apresenta-se próximo do seu final.

A partir da análise dos dados das estações dos municípios observa-se, Tabela 9, que o desvio padrão obtido foi maior no primeiro semestre do ano, com destaque para os meses de janeiro, março e abril. Desta forma, verifica-se que o período mais chuvoso na região do sistema Curemas-Mãe d'água é de Janeiro a Maio, sendo Março o mês mais chuvoso. Enquanto que os meses mais secos são de Julho a Novembro, e o mês de setembro o mais seco entre os citados.

Percebe-se, Tabela 9, uma grande variabilidade das chuvas ao longo do ano sobre a área estudada, refletida pelos altos valores apresentados pelo coeficiente de Variação (Cv), acima de 50% em todos os meses. Em consequência de os valores médios serem superiores aos da mediana, os meses apresentam uma distribuição

assimétrica positiva, como mostra os resultados positivos apontados pelo Coeficiente de Simetria (Cs).

Tabela 9 - Parâmetros Estatísticos da precipitação média mensal para as estações dos municípios dentro da área de estudo

Mês	n	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio Padrão	Coeficientes	
							Cv	Cs
FEV	23	129,7	47,2	295,3	106,3	74,9	57,8%	0,9
MAR	23	194,4	59,4	499,5	174,8	106,3	54,7%	1,1
ABR	23	154,2	45,6	397,2	143,2	94,6	61,3%	1,2
MAI	23	94,0	1,0	270,3	74,3	76,4	81,3%	0,7
JUN	23	28,8	1,9	95,7	20,0	25,5	88,6%	1,5
JUL	23	15,8	0,0	59,3	10,5	14,5	91,7%	1,5
AGO	23	4,7	0,0	26,6	1,1	7,3	155,8%	1,9
SET	23	1,9	0,0	31,9	0,0	6,6	340,6%	4,7
OUT	23	13,7	0,0	104,9	2,0	25,8	188,3%	2,6
NOV	23	12,9	0,0	79,4	2,8	19,9	153,9%	2,0
DEZ	23	34,0	1,3	111,6	23,2	28,8	84,6%	1,1

Coeficiente de Variação (Cv); Coeficiente de Simetria (Cs).

Fonte: Autoria Própria (2018).

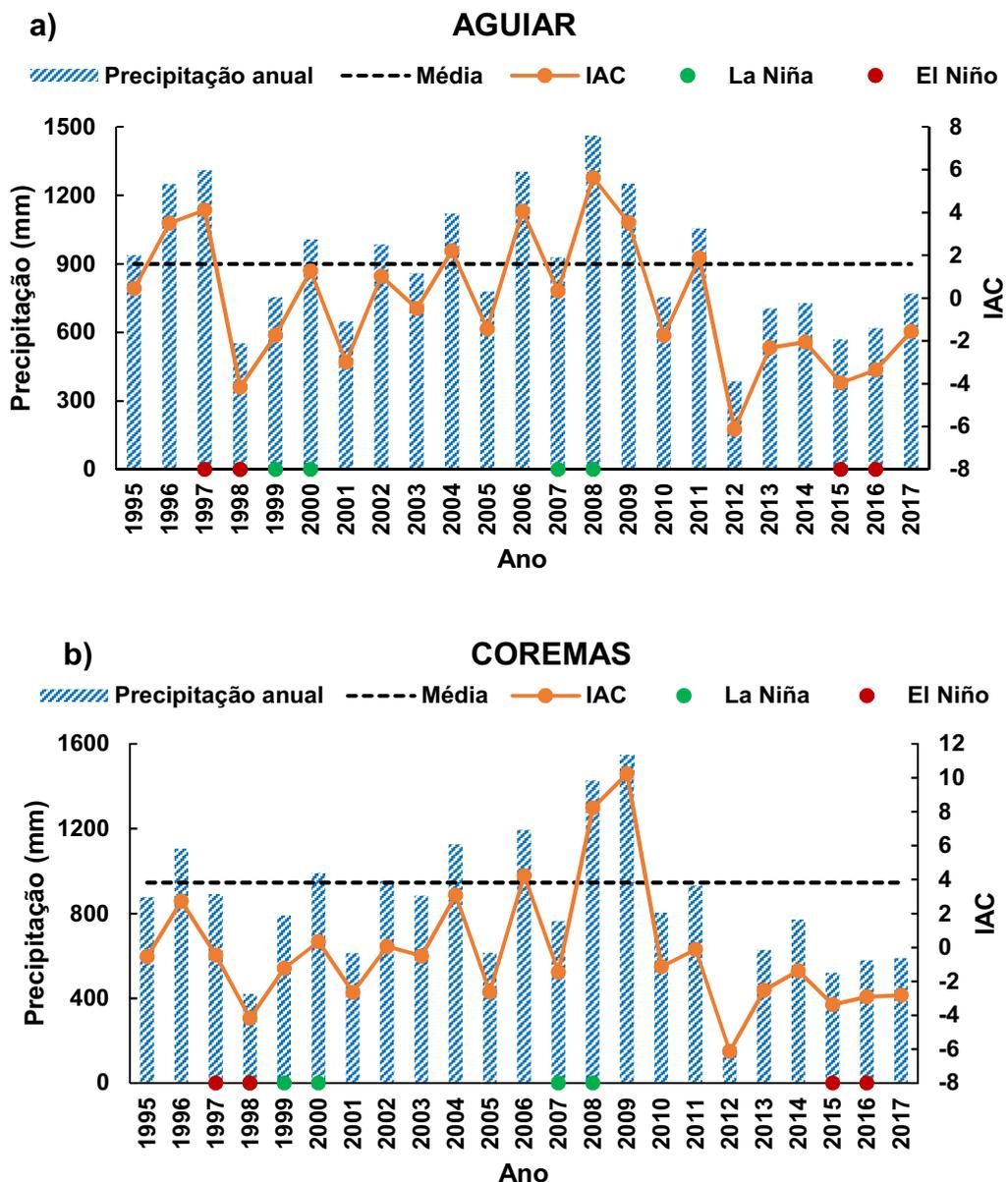
4.2 Índice de Anomalias de Chuvas (IAC) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

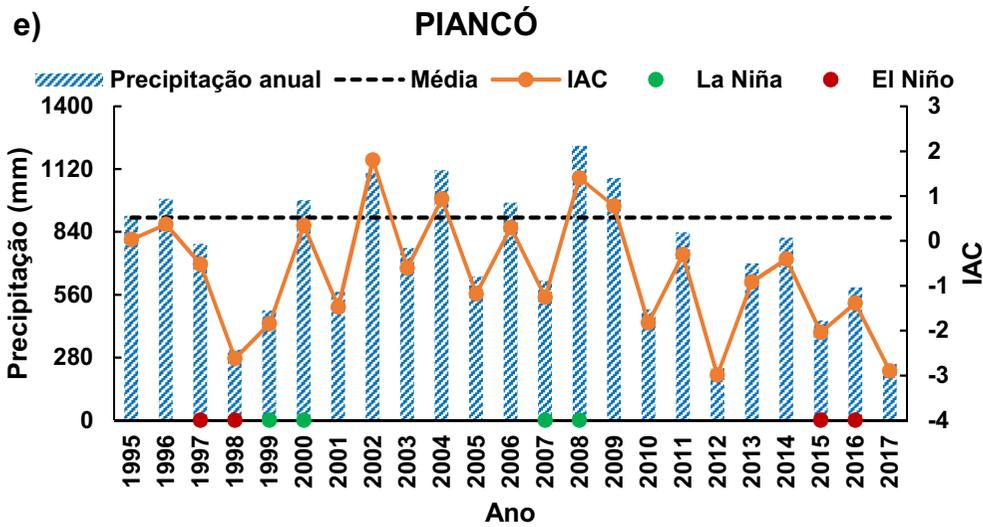
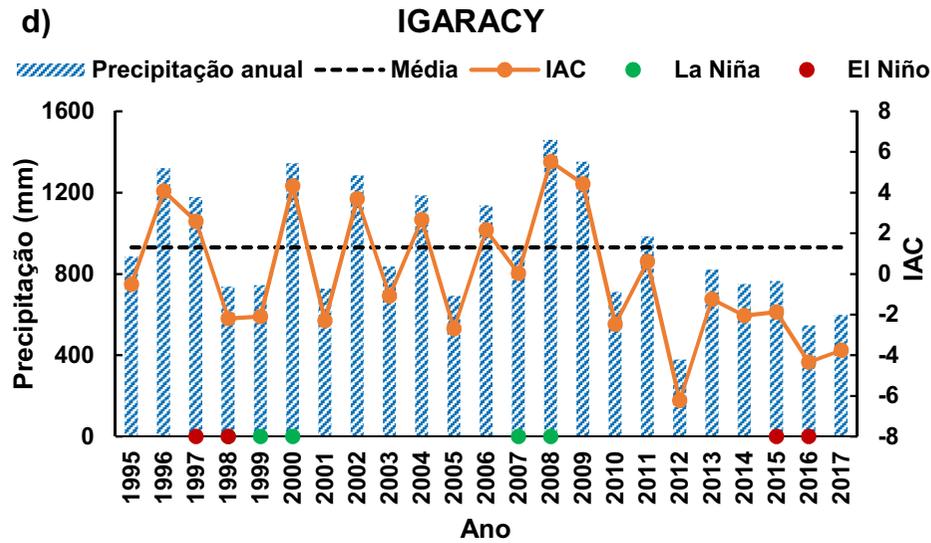
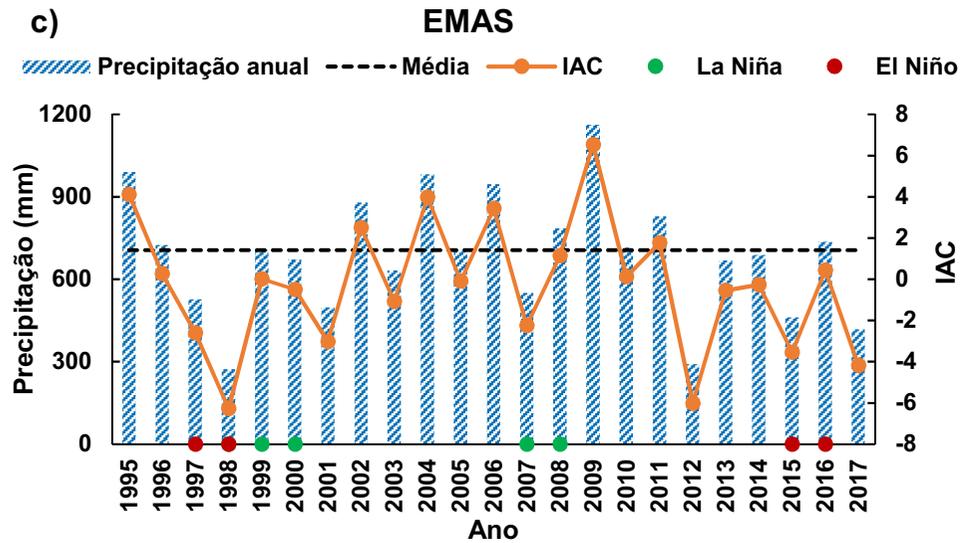
Com o IAC identificou-se a presença de episódios anômalos de seca e chuva, avaliando o seu grau de severidade sobre a área do Sistema Curremas-Mãe d'água. Os meses/anos com eventos de anomalias relacionadas a períodos chuvosos, determinados pelos valores positivos para o índice, são classificados como chuvosos (C), muito chuvosos (MC) ou extremamente chuvosos (EC). Aqueles com anomalias de seca, representados pelos valores negativos, são classificados como secos (S), muito secos (MS) ou extremamente secos (ES). Os meses/anos com valor igual a 0 são normais.

Observa-se nos Gráficos 2a, 2b, 2c, 2d e 2e, uma quantidade maior de anos com valor negativo, ou seja, as anomalias relacionadas a seca foram mais frequentes nessa área. O valor positivo mais expressivo positivamente para o IAC foi encontrado na série referente a Coremas e o negativo na de Emas.

Identifica-se, um comportamento semelhante na série de valores do IAC anual de 2012 a 2017 para todas as estações/municípios investigados(as). Em virtude, dos acumulados anuais de chuva desempenharem influência semelhante nas respectivas estações.

Gráfico 2 - Índice de Anomalias de Chuva anual para os municípios (a), (b), (c), (d) e (e) que compõem a área de estudo





Fonte: Autoria Própria (2018).

Na Tabela 10, verifica-se a classificação anual quanto a presença de anomalias de chuva, em conformidade com os valores resultantes do IAC, em todos os municípios dentro da área de estudo. Confirmando a ocorrência em maior número de anos frequentemente secos.

Exibe, ainda, que os anos de 1998, 2001, 2003, 2005, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2017 ficaram entre as classes Seco, Muito Seco ou Extremamente Seco em todos os municípios. Os anos que tiveram a maior frequência de episódios chuvosos foram: 1996, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 e 2009. Destaca-se, também, que os municípios de Piancó, Igaracy e Emas apresentaram ano Normal, ou seja, sem a presença de anomalias, e Coremas superior a todos os outros em anos com acontecimentos anômalos secos.

Araújo et al (2008), analisando o Cariri paraibano, utilizando o IAC, também destacou na região de Taperoá que o ano 1998 esteve entre os anos mais secos e 2004 entre os chuvosos. A mesma situação foi observada por eles para a sub-bacia do Alto Paraíba.

Tabela 10 - Classificação dos anos segundo o Índice de Anomalias de Chuva (IAC)

(continua)

Ano	PIANCO	AGUIAR	COREMAS	IGARACY	EMAS
1995	N	C	S	S	EC
1996	C	MC	MC	EC	C
1997	S	EC	S	MC	MS
1998	MS	ES	ES	MS	ES
1999	S	S	S	MS	N
2000	C	C	C	EC	S
2001	S	MS	MS	MS	MS
2002	C	C	C	MC	MC
2003	S	S	S	S	S
2004	C	MC	MC	MC	MC
2005	S	S	MS	MS	S
2006	C	MC	EC	MC	MC
2007	S	S	S	N	MS
2008	C	EC	EC	EC	C
2009	C	MC	EC	EC	EC
2010	S	S	S	MS	C
2011	S	C	S	C	C

Seco (S); Muito Seco (MS); Extremamente Seco (ES); Chuvoso (C); Muito Chuvoso (MC); Extremamente Chuvoso (EC).

Ano	(conclusão)				
	PIANCO	AGUIAR	COREMAS	IGARACY	EMAS
2012	MS	ES	ES	ES	ES
2013	S	MS	MS	S	S
2014	S	S	S	MS	S
2015	MS	MS	MS	S	MS
2016	S	MS	MS	ES	C
2017	MS	S	MS	MS	ES

Seco (S); Muito Seco (MS); Extremamente Seco (ES); Chuvoso (C); Muito Chuvoso (MC); Extremamente Chuvoso (EC).

Fonte: Autoria Própria (2018).

No ano de 1998 estiveram atuando duas fases forte de ENOS, o EN de janeiro a maio (período chuvoso da região) e o LN de julho a dezembro (que não exerce influência significativa por este ser o período seco dessa região). Portanto o EN, iniciado em maio/1997 com duração até maio/1998, exercendo influência significativa para os eventos anômalo secos de 1998 fazendo com que este apresente classificação entre os extremos secos. No entanto, embora não tenha sido aplicado uma análise de correlação, ressalta-se, que o EN de maio/1997 a maio/1998, esteve associado a uma grande seca no Nordeste. E as anomalias chuvosas de 2000, 2008 e 2009, consequência da atuação do fenômeno La Niña de intensidade forte que ocorrera de julho/1998 a dezembro/2000 e o de julho/2007 a junho/2008.

Ressalta-se, que os eventos de ENOS fortes (El Niño e La Niña) tem nos meses iniciais intensidade fraca, passando para moderada e, posteriormente, atingindo a intensidade forte nos meses finais do ano inicial do evento até início do próximo ano, depois volta a ser moderado e fraco nos meses finais de sua atuação.

Nos quatro episódios de eventos fortes do ENOS, dois El Niños (1997-98 e 2015-16) e duas La Niñas (1998-00 e 2007-08), foram analisados um total de 360 meses em toda a área. Os quais resultaram em, 31,4% anomalias positivas e 68,6% anomalias negativas.

Dentre os eventos anômalo chuvosos correspondentes aos 31,4%, 16% ocorreram durante o EN-1, 46% na LN-1, 23% no LN-2 e 15 % no EN-2. Do total de 68,6% de anomalias de seca, 19% aconteceram no EN-1, 39,7% no LN-1, 13,8% no LN-2 e 27,5% no EN-2. Sendo assim, houve maior frequência de meses positivos durante as fases de LN e negativos no decorrer da primeira fase do LN e segunda fase do EN. Marcuzzo e Goularte (2012), estudando uma série com 30 anos de

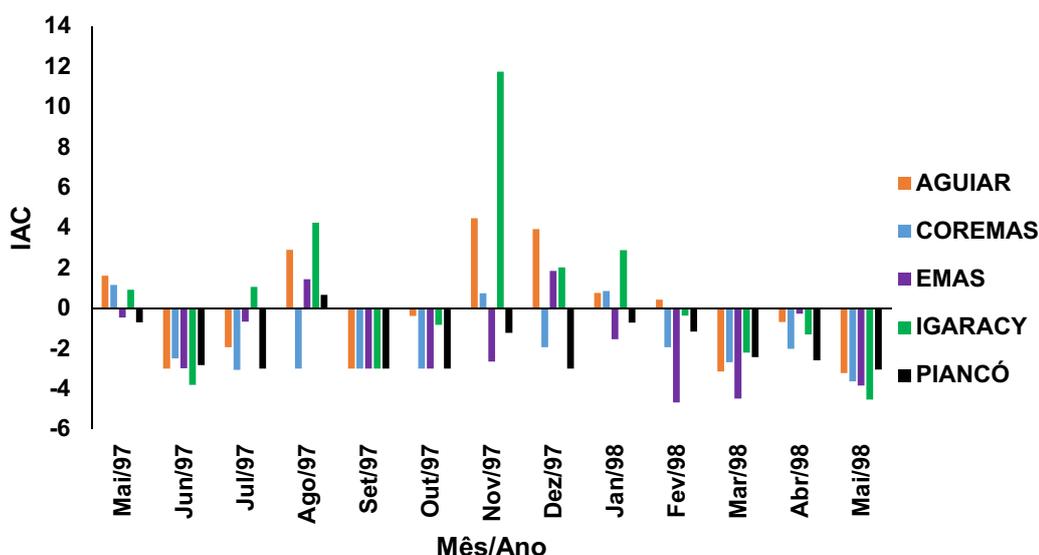
precipitação do estado de Tocantins, também, encontraram mais meses secos que chuvosos.

4.2.1 El Niño forte (1997 - 98): Atuação da primeira fase do El Niño forte

Conforme o Gráfico 3, durante o EN-1 forte (Maio/97 - Maio/98), 18 meses foram positivos e 47 negativos. Dentre estes, Novembro de 1997 em Igaracy e Fevereiro de 1998, Emas, foram os destaques positivos e negativos, respectivamente. Após Jan/98 no fim do evento há uma sequência maior na ocorrência de anos secos, alguns com intensidade bem acima das anteriores.

O mês novembro de 1997 em Igaracy se sobressaiu em relação ao outros devido não ser um mês chuvoso e por possuir uma média histórica de precipitação baixa.

Gráfico 3 -Índice de Anomalias de Chuva durante o El Niño forte (Maio/1997 - Maio/1998), fase 1



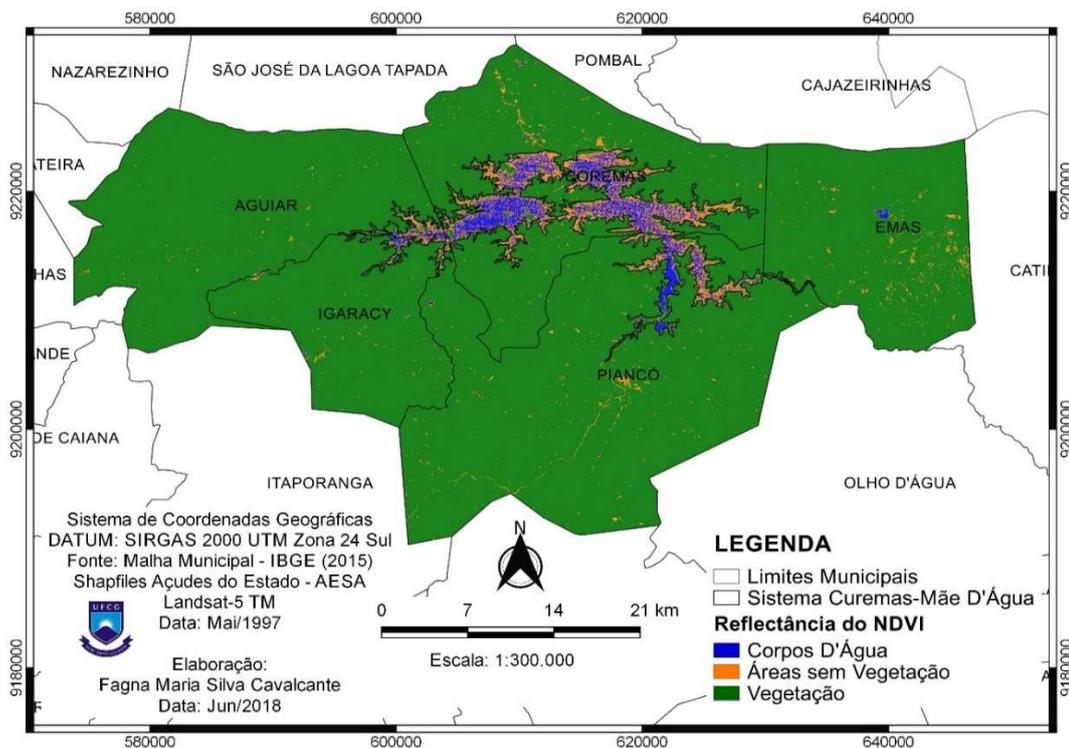
Fonte: Autoria Própria (2018).

Na análise pelo NDVI verifica-se, principalmente, as mudanças na cobertura vegetal e corpos d'água. Devido à alta sensibilidade do NDVI a atividade de clorofila. A classificação para a refletância do NDVI segue uma coloração variando em tons de verde, laranja e azul. Os tons de verde indicam vegetação, o laranja representa a possível presença de vegetação rasteira, vegetação seca e folhagens, ausência de cobertura vegetal, centros urbanos ou contaminação residual por nuvens e o azul a existência de corpos d'água.

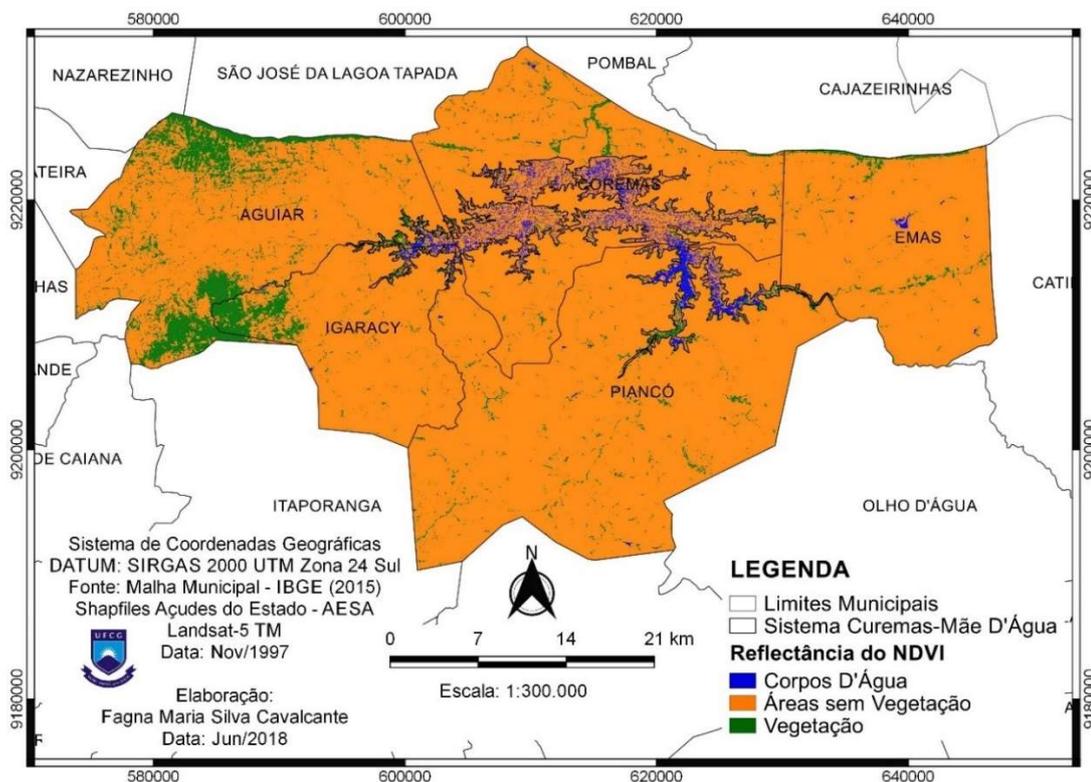
No período em que o EN-1 se manteve atuante, de Mai/97 a Mai/98, nota-se uma diferença na vegetação e na disponibilidade hídrica dos reservatórios. Na Figura 2a (Mai/1997) início do fenômeno há uma presença maior de atividade fotossintética, com predominância de vegetação com pequenos pontos sem vegetação e maior volume nos reservatórios, verificado pelo espelho d'água. O contrário é visto na Figura 2b (Nov/1997), com presença de vegetação distribuídos em alguns pontos, não há uma mudança perceptível significativa no espelho d'água.

Figura 2 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), (a) e (b) para o período do EN (1997-98)

a)



b)



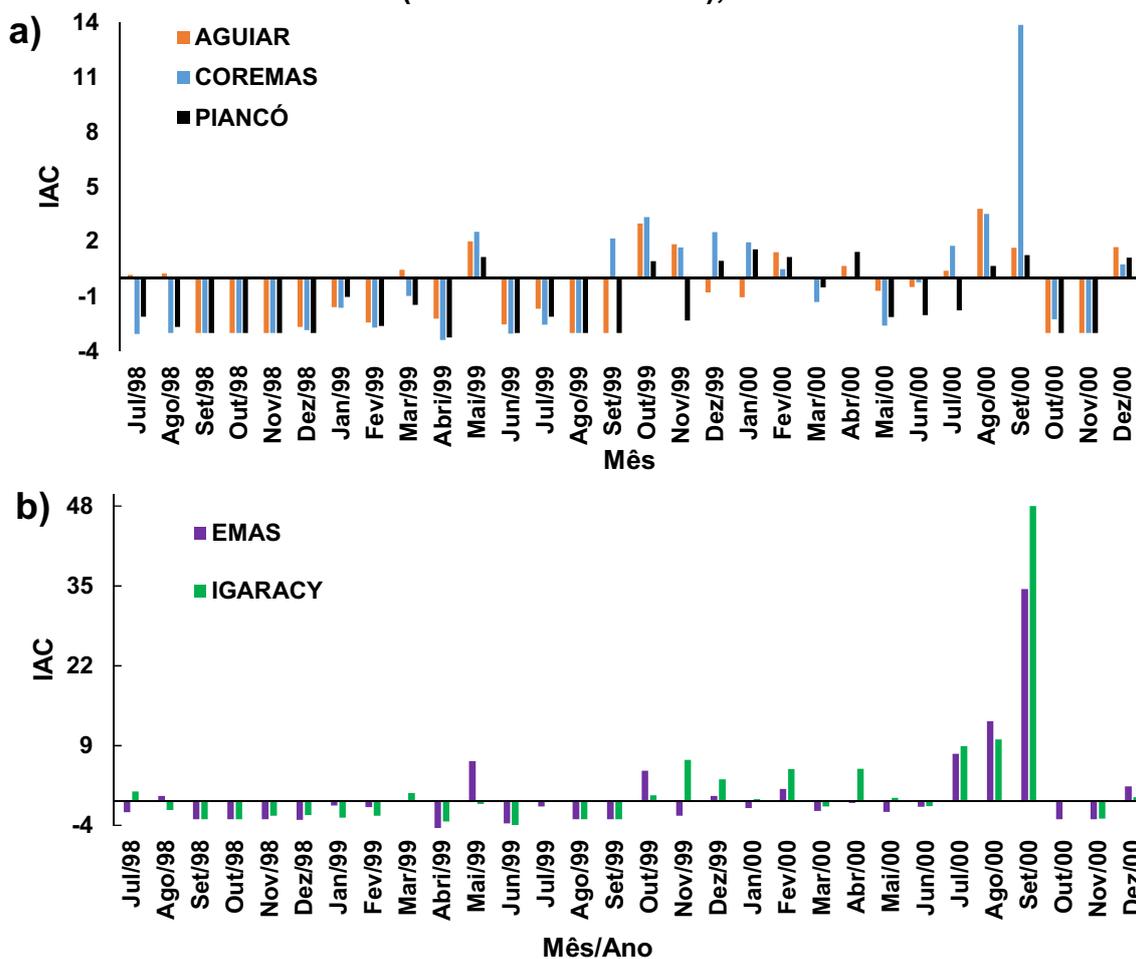
Fonte: Autoria Própria (2018).

Ressalta-se, que durante a atuação do EN-1 maio de 1997 apresentou valores positivos para o IAC em três das cinco estações presentes na área de estudo, e os outros dois valores negativos próximos de zero. Novembro de 1997, como já mencionado anteriormente, apesar de mostrar valores positivos altos para o índice não é um mês chuvoso e possui média histórica baixa. Portanto, é um mês que não exerce recarga significativa de água na região, o que explica o comportamento da vegetação e o nível nos reservatórios.

4.2.2 La Niña forte (1998 – 00): Atuação da primeira fase do La Niña forte

Os Gráficos 4a e 4b para o La Niña fase 1 Forte, indica 52 meses positivos e 98 negativos, destacando-se setembro de 2000 maior valor positivo, em Coremas e Igaracy, e abril de 1999 com menor valor negativo em Coremas e Emas.

Gráfico 4 - Índice de Anomalias de Chuva, (a) e (b), durante o La Niña forte (Jul/1998 - Dez/2000), fase 1



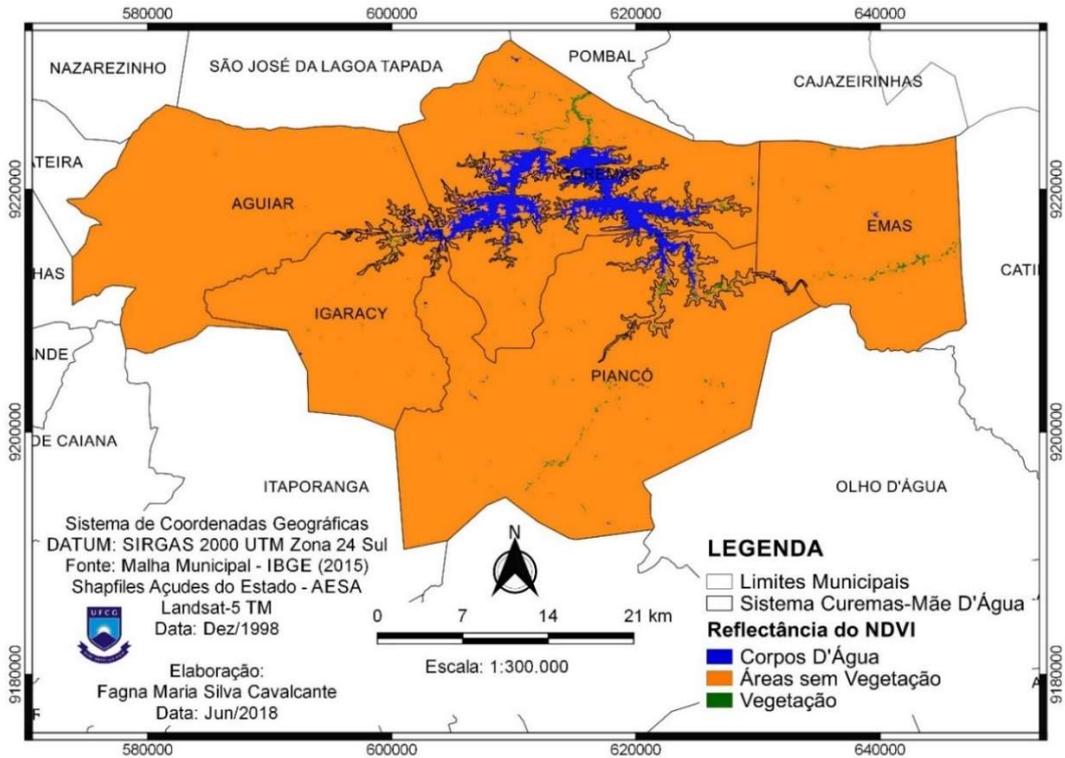
Fonte: Autoria Própria (2018).

Ao longo do LN-1, de Jul/98 a Dez/00, é nítido a transformação na vegetação e na disponibilidade hídrica da área, especialmente, nos reservatórios. Observando as Figuras 3a, 3b e 3c é explícito o aumento na atividade fotossintética entre elas, especialmente, no limite do espelho do sistema Curemas-Mãe d'água devido a umidade presente no local. Já na disponibilidade hídrica, as Figuras 3a, 3b e 3c mostram uma redução.

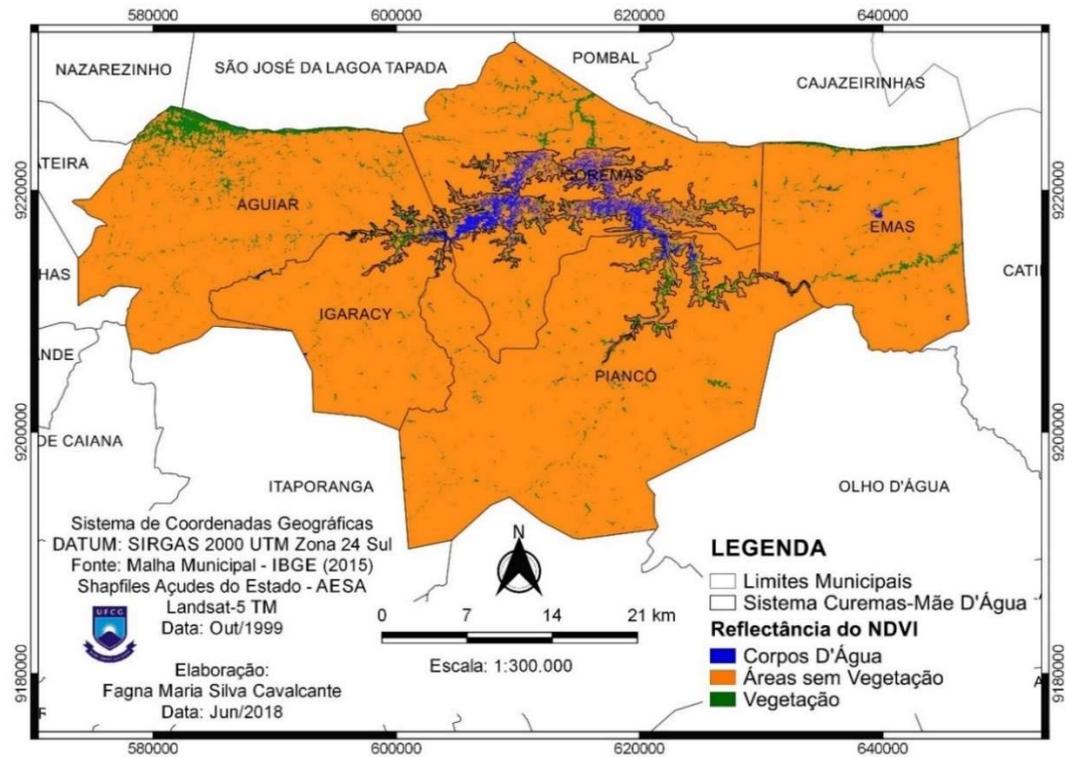
A resposta positiva para os recursos hídricos a fase do LN-1 é evidente ao final de sua atuação, conforme mostra a Figura 4d. Em contrapartida, ela demonstra que ao fim do evento há uma queda na cobertura vegetal.

Figura 3 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a), (b), (c) e (d), para o período do LN (1998-00)

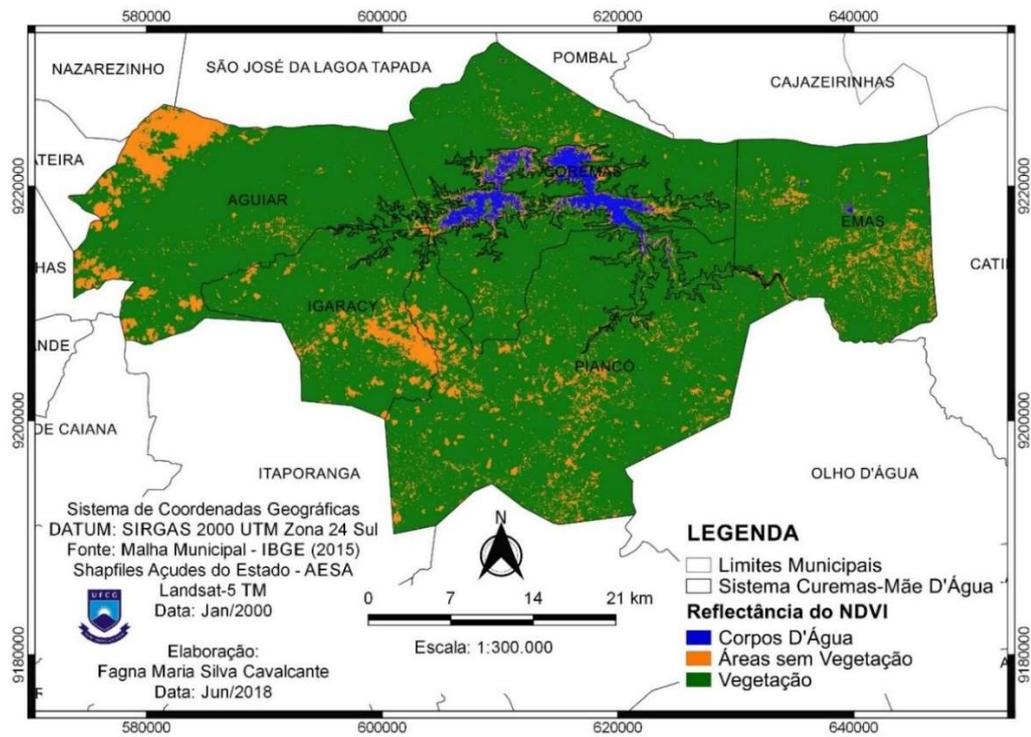
a)



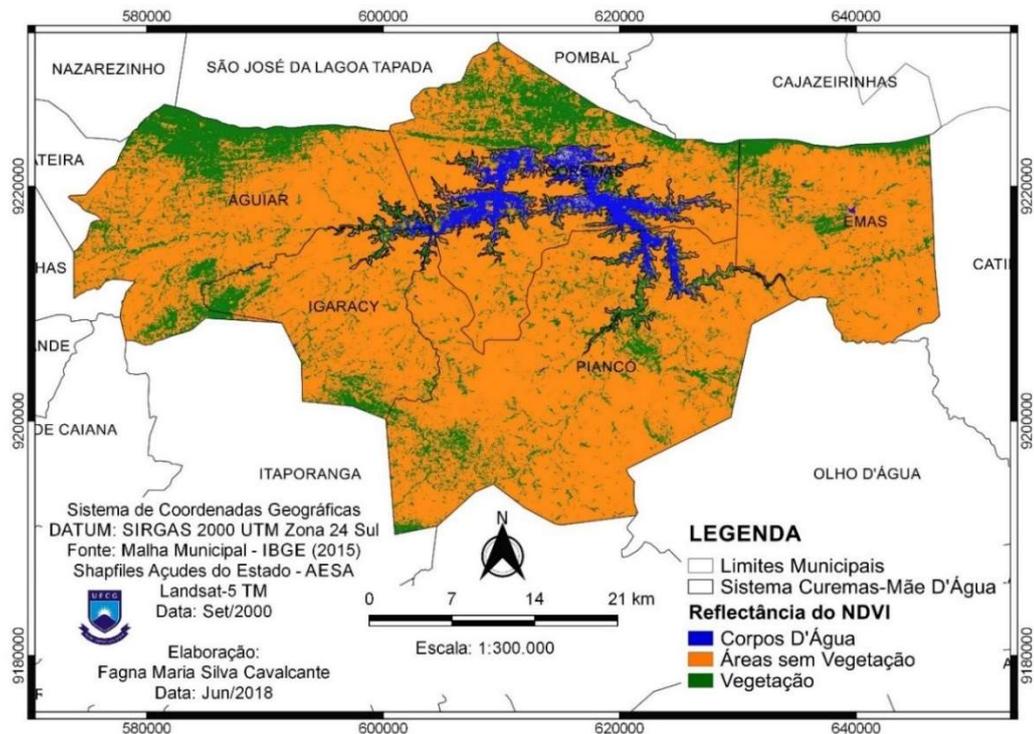
b)



c)



d)



Fonte: Autoria Própria (2018).

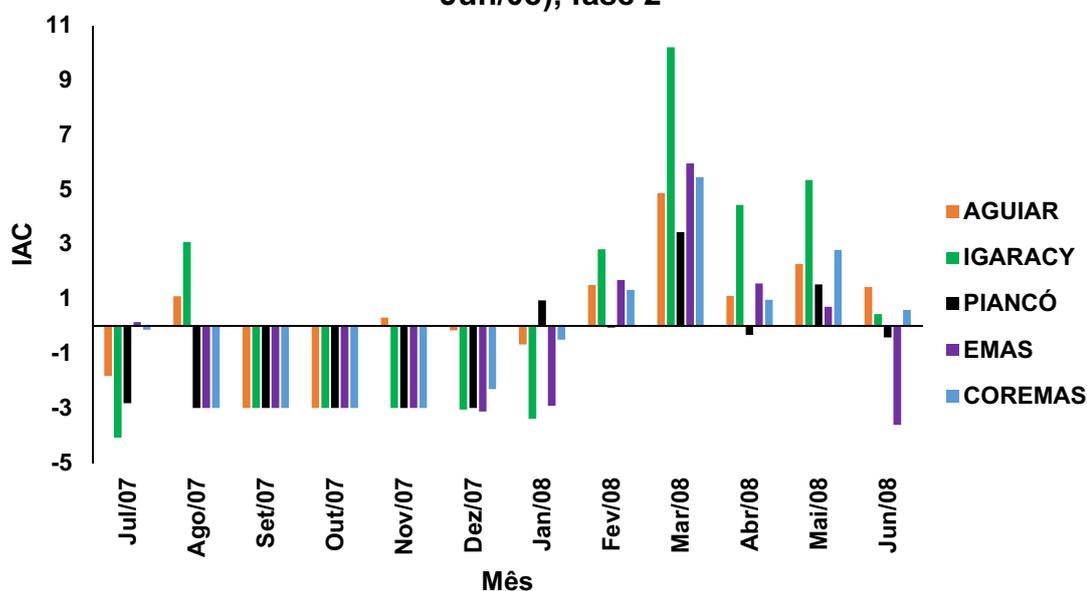
A tendência de aumento na cobertura vegetal, ao longo do LN-1, assim como a recarga hídrica notada ao fim do evento é devido a manifestação de anomalias

positivas nos anos de 1999 e 2000. Este fato, é indicativo da incidência de chuvas com bons volumes precipitados sobre a área.

4.2.3 La Niña forte (2007 – 08): Atuação da segunda fase do La Niña forte

Durante o La Niña fase 2, Gráfico 5, identifica-se 26 meses positivos e 34 negativos. Destaca-se março de 2008 e julho de 2007, positivo e negativo, respectivamente, ambos na série de Igaracy. Seguindo para o fim do evento tem-se, uma ocorrência maior de eventos positivos que negativos, diferentemente da parte inicial. Comportamento que não acontece na primeira fase do LN forte.

Gráfico 5 - Índice de Anomalias de Chuva durante o La Niña forte (Jul/07 - Jun/08), fase 2



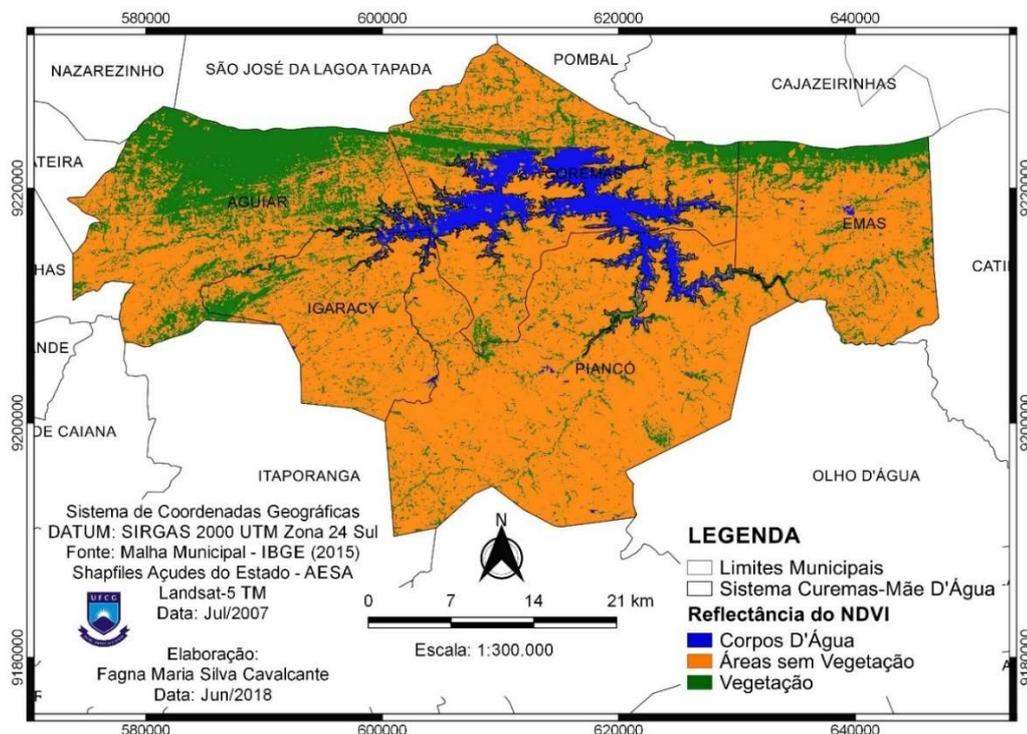
Fonte: Aatoria Própria (2018).

No LN-2, de Jul/07 a Jun/08, há diferença nos corpos d'água e na vegetação presentes na área, de acordo com as Figuras 5a e 5b. Na Figura 5a, referente ao ano inicial do episódio há um maior número de corpos d'água, predominância de vegetação em alguns pontos. Comportamento oposto é mostrado na Figura 5b, na qual a cobertura vegetal está quase que uniformemente distribuída. Nota-se uma redução no espelho d'água fazendo com que haja uma concentração de pontos com ausência vegetal sobre os limites dos reservatórios.

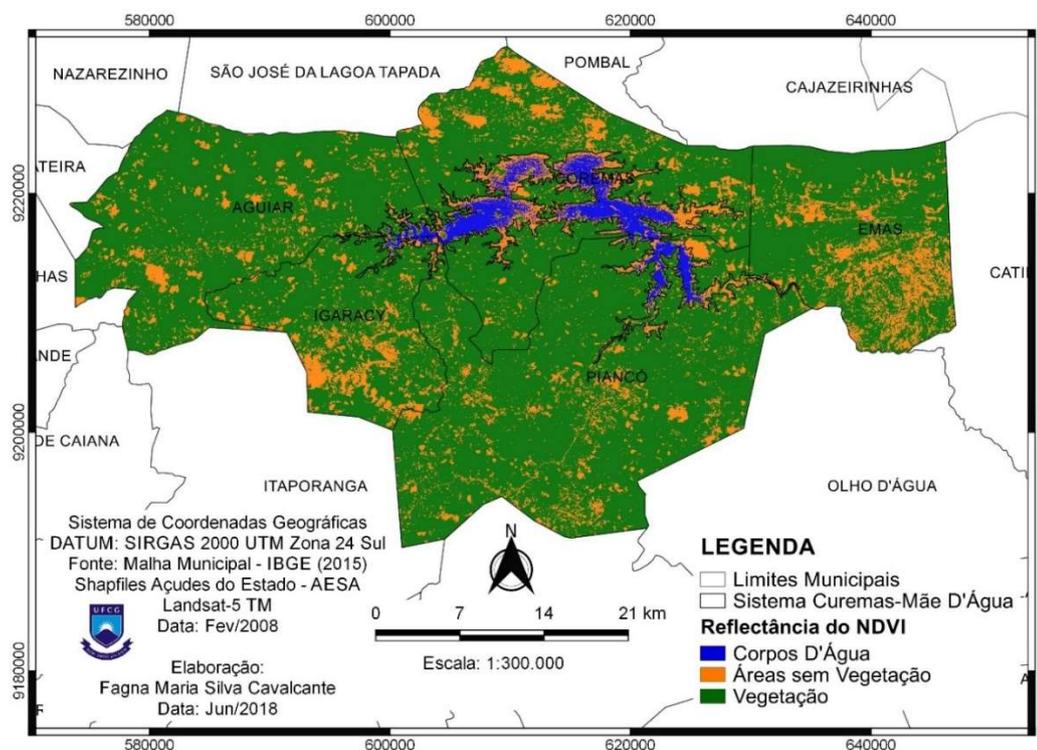
Ressalta-se, na Figura 5b alguns pontos, fora dos limites dos reservatórios, considerados com áreas sem vegetação pelo índice, são resíduos de nuvens que não conseguiram ser diferenciadas.

Figura 4 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a) e (b) para o período do LN (2007-08)

a)



b)



Fonte: Autoria Própria (2018).

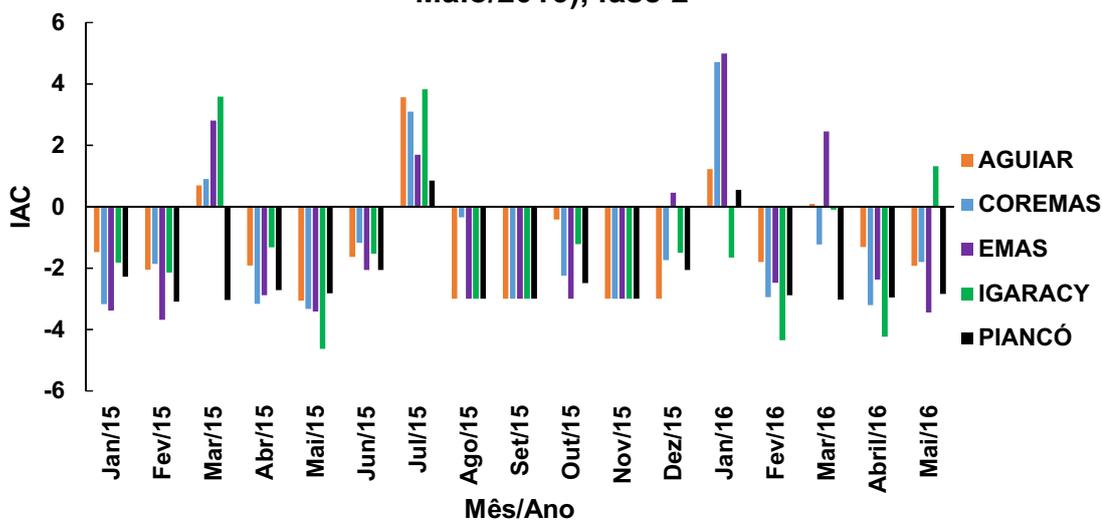
A situação descrita conforme as Figuras 5a e 5b, de jul/07 e fev/08, respectivamente, no período do LN-2, é ocasionada pelos sucessivos meses secos entre o período de registro, especialmente, da imagem 5a e na 5b devido fevereiro

estar entre o período chuvoso. Em razão disso e pelo fato de transcorrem meses chuvosos após o registro da Figura 5b, ou seja, após fevereiro de 2008.

4.2.4 El Niño forte (2015 - 16): Atuação da segunda fase do El Niño forte

Com a atuação do El Niño-2 de intensidade forte, Gráfico 6, verifica-se 17 meses com eventos anômalos positivos e 68 negativos. Sendo maio de 2015, Igaracy, janeiro de 2016, Emas, com o valor inferior (negativo) e superior (positivo), respectivamente, quando comparado todas as séries. Mesmo com duração maior, o EN-2 mostrou diferença de um mês com anomalias positivas em relação ao anterior, EN-1. Deferente o EN-1, nota-se vários momentos com repetições de sequência negativa e três repetições com meses consecutivos de valor positivo.

Gráfico 6 - Índice de Anomalias de Chuva durante o El Niño forte (Jan/2015 - Maio/2016), fase 2



Fonte: Autoria Própria (2018).

Observa-se comportamentos semelhantes para alguns meses durante os episódios de EN e LN fortes, por exemplo em setembro de 1997, setembro e novembro de 2015, meses de EN, e, setembro e outubro de 1998, agosto de 1999, setembro e outubro de 2007, meses de LN, obteve-se o mesmo resultado para o IAC (-3,0) em todos os municípios.

Com a identificação de períodos muito secos ou extremamente secos e muito chuvosos ou extremamente chuvosos enxerga-se uma possibilidade maior de ocorrência de eventos extremos. Em virtude disso, na região do NEB aumenta ainda

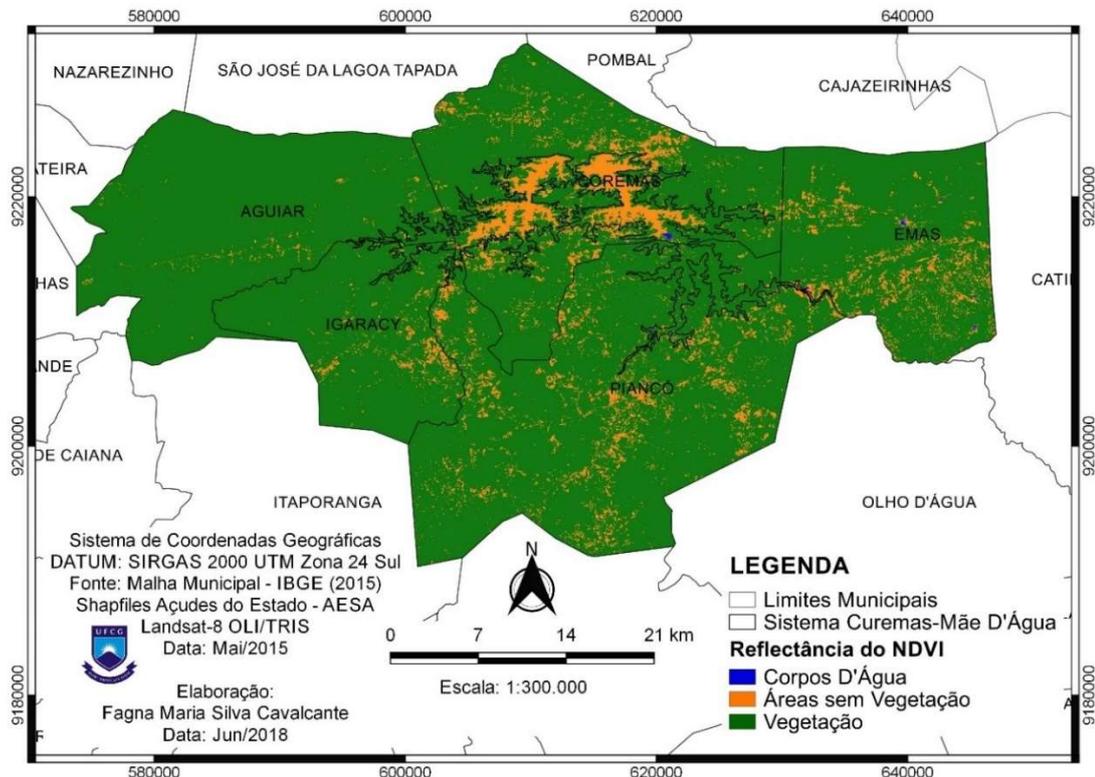
mais essa possibilidade devido à grande variabilidade espaço-temporal existente nas chuvas, e, portanto, mais susceptível a eventos extremos, sobretudo, de seca.

No EN-2, de Jan/15 a Mai/16, Figuras 5a, 5b e 5c, verifica-se uma oscilação na cobertura vegetal. Em mai/15, Figura 5a, denota uma vegetação bem distribuída e no decorrer do tempo, em dez/15 passa a expor uma cobertura com menores proporções. A área volta a indicar a situação inicial de alto desenvolvimento vegetativo, ao fim da fase do EN-2, em mai/16, Figura 5c.

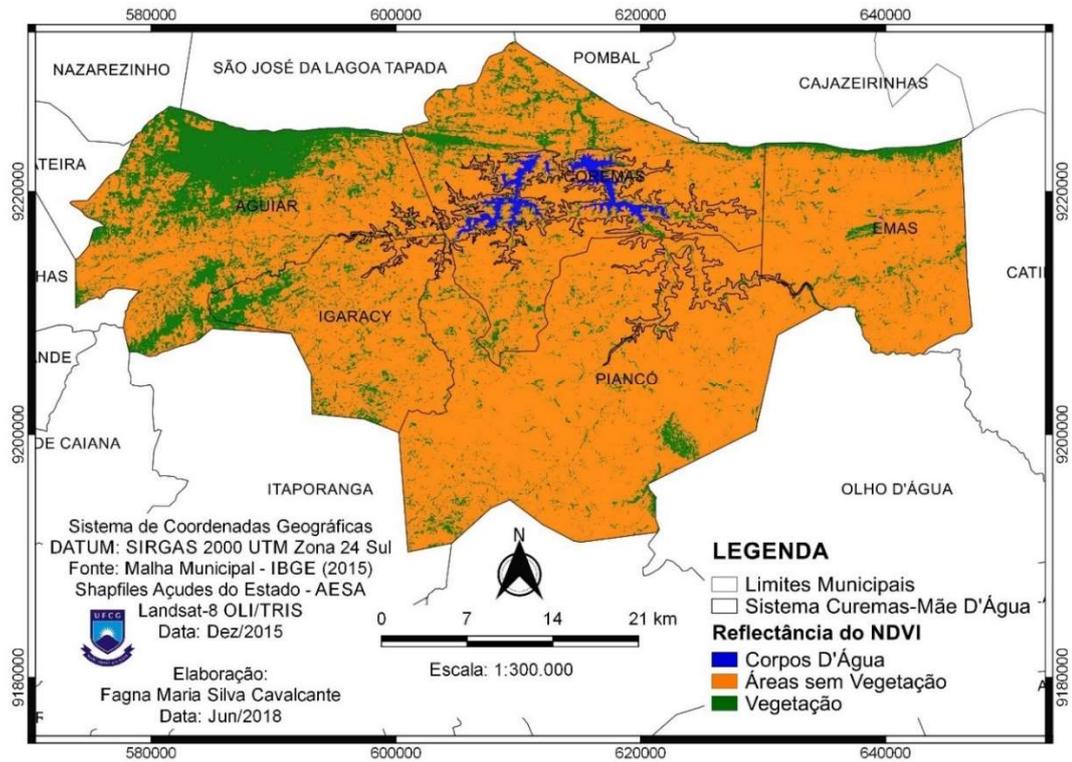
Destaca-se, na Figura 5a, uma possível presença de sedimentação na superfície do sistema Curemas-Mãe d'água. Por consequência do carreamento de sedimentos para os reservatórios, por se um mês da estação chuvosa e pelo baixo nível dos reservatórios, apresentando no momento do registro possível situação de turbidez alta, em função das chuvas.

Figura 5 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (a), (b) e (c) para o período do EN (2015-16)

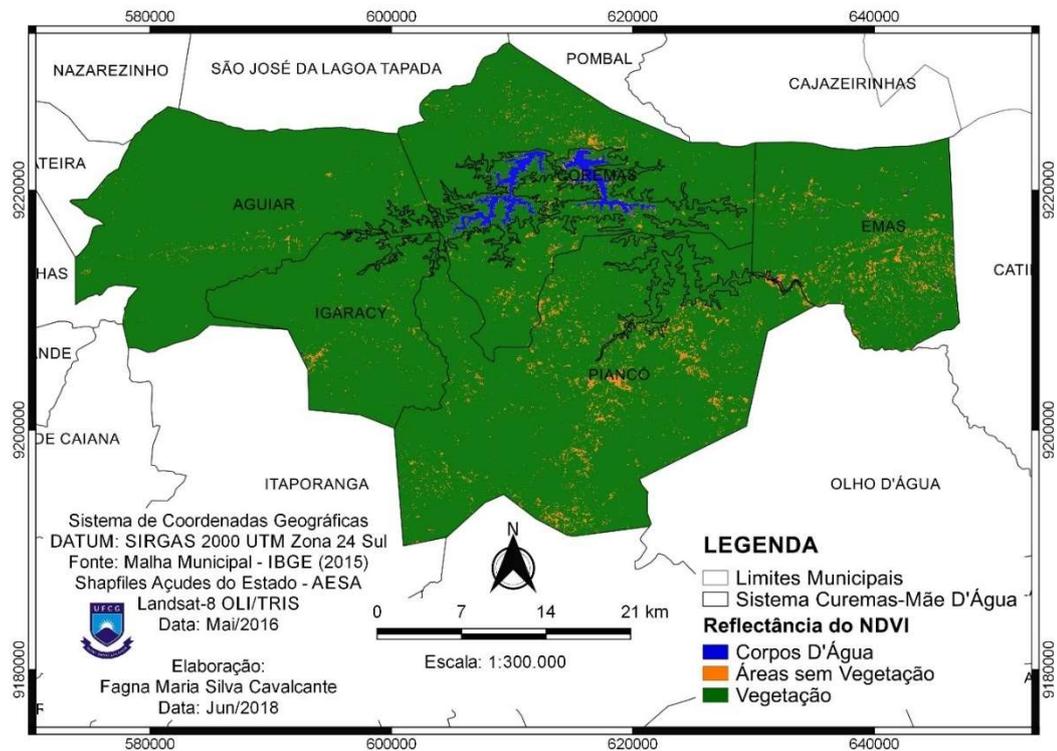
a)



b)



c)



Fonte: Autoria Própria (2018).

O EN-2 obteve essa configuração devido a ocorrência de momentos com sucessivos meses secos entre os poucos momentos chuvosos. E assim, não sendo os períodos chuvosos suficientes para a recarga dos reservatórios, resultando na

diferença no nível dos reservatórios ao longo do evento. O período da Figura 5b não é da estação chuvosa, indicando que não houveram chuvas suficientes para o desenvolvimento total da cobertura vegetal, configuração apresentada também em Figuras e momentos de atuação dos extremos de ENOS investigados, anteriores a este.

Segundo Marengo et al. (2016), essa fase do EN intensificou ainda mais a seca que começou em 2012, sendo considerada a mais grave das últimas décadas impactando de diferentes formas o semiárido do NEB. Os déficits nas precipitações, temperaturas altas, menor produtividade vegetal e maior frequência de secas propiciando a degradação ambiental, são alguns dos impactos relacionados.

4.3 Impactos Ambientais

Diante dos resultados encontrados pelo IAC e NDVI identifica-se, os impactos ambientais na área de influência do Sistema Coremas-Mãe d'água. Procura-se indicar consequências presentes na precipitação, na vegetação e na disponibilidade hídrica em decorrência das anomalias em anos de ENOS fortes.

Ao longo dos episódios de ENOS fortes com a presença dos extremos secos e chuvosos o contraste na vegetação é claramente evidenciado, já que nos meses chuvosos tem-se uma maior densidade de cobertura vegetal e sua diminuição em períodos secos. É nítido a relação precipitação, vegetação e recursos hídricos, uma vez que a precipitação proporciona um melhor desenvolvimento da cobertura vegetal e aumento da disponibilidade hídrica.

A influência de extremos de precipitação também foi encontrada por Santos e Brito (2007), identificando que a vegetação do sertão, ou seja, o bioma caatinga, é mais dependente de extremos de precipitação do que a parte leste do estado da Paraíba composto por Mata Atlântica, demonstrado pela forte correlação existente entre os extremos de precipitação e a vegetação característica de cada porção analisada.

Segundo Tundisi e Tundisi (2010), a forma como se encontra a estrutura da vegetação de uma área influencia significativamente a energia potencial, a erosão e a química das águas superficiais e subterrâneas.

As diferenças encontradas nas precipitações das fases de EN e LN é graças, a menor frequência de anomalias positivas de uma fase para outra dos ENOS fortes (El Niño e La Niña) e intensidade do episódio (Tabela 11). Do primeiro episódio de EN para o segundo decorre em virtude da fase 2 do EN ter apresentado uma maior intensidade. Já entre o primeiro episódio e o segundo de LN o ocorrido decorre de a LN fase 2 ter uma menor duração e uma intensidade fraca.

Tabela 11 - Quantidade de meses para os episódios de El Niño e La Niña para cada intensidade

INTENSIDADE	EL NIÑO		LA NIÑA	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
	Mai/97 - Mai/98	Jan/15 – Mai/16	Jul/98 - Dez/00	Jul/07 - Jun/08
Forte	8	9	6	3
Moderado	3	3	14	4
Fraco	2	5	10	5
TOTAL	13	17	30	12

Fonte: Golden Gate Weather Services (2018).

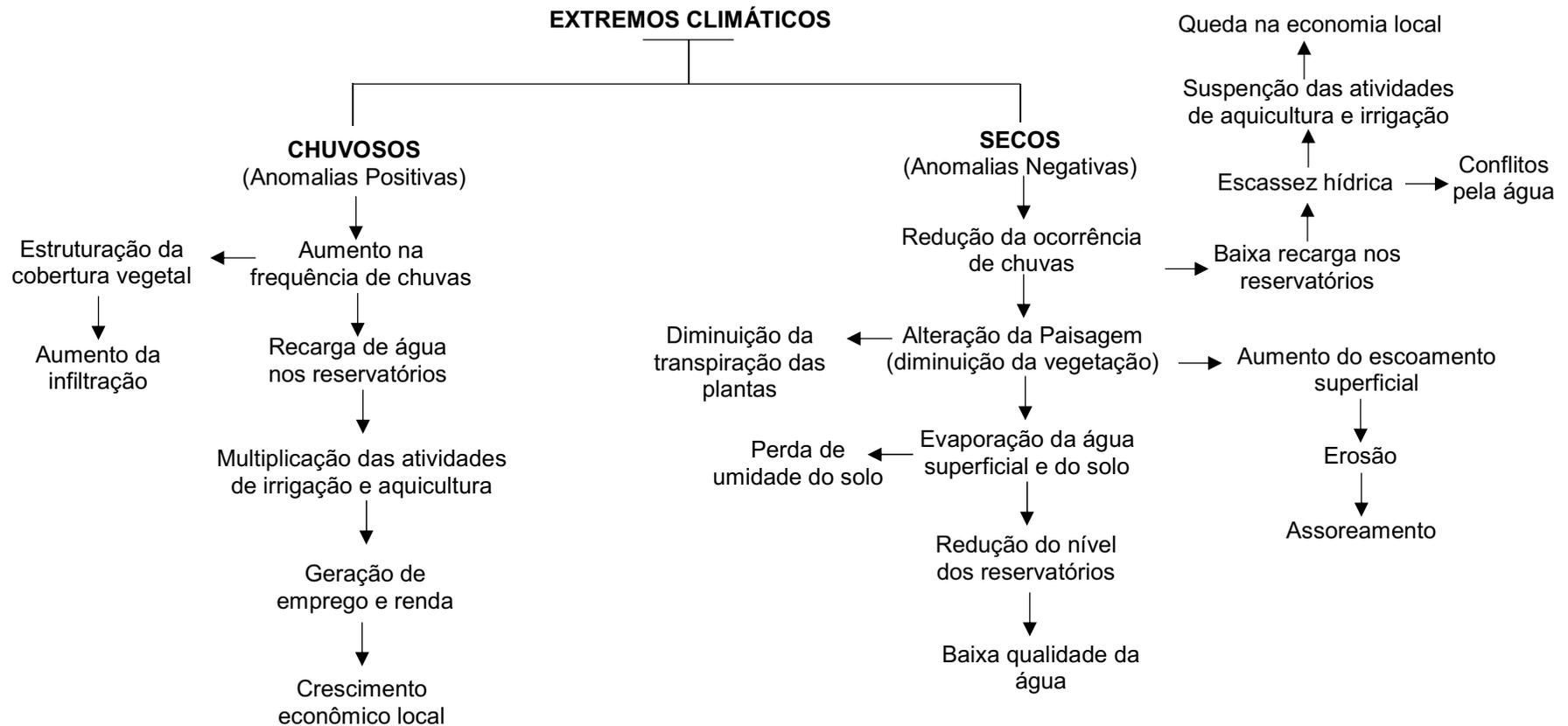
Logo, a área exibindo uma baixa frequência de eventos chuvosos e maior números de acontecimentos secos julga-se, diminuição da ocorrência de chuvas e assim baixa recarga de água nos reservatórios. Por consequência a escassez hídrica se apresenta como um transtorno para a região e para a população que nela habita.

A escassez dos recursos hídricos gera preocupação e incertezas para a população, quanto a disponibilidade de água para abastecimento e conflitos pelo seu uso. Segundo Filho et al. (2003), Conflitos na gestão de águas ocorre pela disputa entre diferentes usuários de água, pelo acesso, uso ou a forma de administrar o recurso hídrico. E pelos usos são em decorrência das disputas entre os setores, abastecimento, indústria, irrigação e outros, pela mesma disponibilidade. Na área do sistema Curemas-Mãe d'água é por consequência de o mesmo abastecer vários municípios paraibanos e no estado do Rio Grande do Norte, assim como para o desenvolvimento de atividades agrícolas por irrigação.

Segundo a ANA, 2008 foi último ano em que o sistema atingiu a sua capacidade máxima. Em 2016 o sistema teve a maior perda de água comparado a outros reservatórios da Paraíba.

O diagrama mostra as consequências da presença de extremos chuvosos, devido ao aparecimento de anomalias positivas, e secos, pela estada de anomalias negativas, na área de influência do sistema Curemas-Mãe d'água. Mostrando por meio deste, a relação reconhecida entre a precipitação, vegetação e o recurso hídrico.

Diagrama - Consequências das anomalias climáticas no Sistema Curemas-Mãe d'água



Fonte: Autoria Própria, (2018).

5 CONCLUSÕES

O índice de Anomalias de Chuva (IAC) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proporcionaram entender como se comportam esses episódios e qual a sua influência na área do Sistema Curremas-Mãe d'água e como o ambiente responde a ocorrência de mudanças e extremos do clima. O IAC possibilitou uma análise da presença de eventos anômalos secos e chuvosos e o NDVI os comportamentos dos parâmetros ambientais presentes na área investigada.

O IAC mostrou uma maior incidência de resultados negativos, tanto na avaliação anual como na análise mensal no período de duração dos ENOS fortes de todos os postos pluviométricos. Isso quer dizer que houve frequentemente episódios de anomalias de seca na área investigada.

É perceptível a relação direta entre a presença do evento ENOS com a quantidade de volume precipitado mensal ou anual. E dentro dos extremos de ENOS analisados a quantidade de anomalias de precipitação positivas ocorridas são inversamente proporcionais as negativas.

A presença do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) influencia de forma significativa na ocorrência de anomalias na área do Sistema Curremas-Mãe d'água, e conseqüentemente a ausência ou não de chuvas. Por conseqüente, impacta nos parâmetros ambientais, sobretudo a disponibilidade hídrica dos reservatórios.

Os impactos apresentados para a área refletem uma rede interativa, na qual os desvios nos valores de precipitação gerando conseqüências para a região levando a uma redução da qualidade ambiental e social para os habitantes e o meio ambiente.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para analisar o impacto do El Niño e La Niña sobre somente a estação chuvosa do NEB, sugere-se que o cálculo da anomalia de precipitação seja realizado com El Niño e La Niña simultâneo aos meses de ocorrência.
- O mesmo estudo pode ser realizado com os modos de variabilidade climática global oriundos do oceano Atlântico Tropical, e comparar com os resultados obtidos com o Pacífico Tropical, desta forma responder à pergunta qual dos dois oceanos influência mais a qualidade da estação chuvosa do NEB?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Dados da Precipitação pluviométrica do Estado da Paraíba**. Via e-mail.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Caracterização do Sistema**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/acudes-do-semiarido/sistema-curemas-mae-dagua>>. Acesso em: 25/02/2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb** – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf#>. Acesso em: 25/02/2018.

ARAGÃO, J.O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v.27, n.3, p. 839-844, 1998.

ARAÚJO, José C. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, Hans Raj et al. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande-PB: INSA. Cruz das Almas-BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cap. 2, p.29-43, 2012.

ARAÚJO, Lincoln Eloi; MORAES NETO, João Miguel de; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de. Análise climática da bacia do Rio Paraíba - índice de anomalia de chuva (IAC). **Revista Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 508-523, set-dez, 2009.

ARAÚJO, Lincoln Eloi; SILVA, Djane Fonseca da; SANTOS, Maria José; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de. Avaliação da precipitação do Cariri paraibano utilizando o índice de anomalia de chuva (IAC). **Revista Principia**. Divulgação Científica e Tecnológica do CEFET-PB. João Pessoa-PB, n. 17, p. 30-35, dez, 2008.

AZEVEDO, Emílio Carlos; MANGABEIRA, João Alfredo de Carvalho. Mapeamento de Uso das Terras Utilizando Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto. **Comunicado Técnico 7º do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Campinas-SP, dez., 2001.

AZEVEDO, Pedro Vieira de; SILVA, Bernardo Barbosa da; RODRIGUES, Marcos Fernando G. Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.

BARBOSA, Antônio Helton da Silva; CARVALHO, Rodrigo Guimarães de; CAMACHO, Ramiro Gustavo Valera. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia USP**. São Paulo-SP, v.33, p. 128-143, 2017.

BATISTA, Getulio T; DIAS, Nelson W. Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens. **Apostila para o curso 6**. In: XII SIMPÓSIO SENSORIAMENTO REMOTO. INPE. v. 1, 54 pags. 2005.

BERLATO, Moacir Antonio.; FONTANA, Denise Cybis. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, Moacir Antonio; FARENZENA, Homero; FONTANA, Denise Cybis. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.423-432, mai. 2005.

BEZERRA, Jakeline Rodrigues de Aquino. **A seca no Nordeste brasileiro: uma leitura do Jornal Folha de São Paulo**. Ano XII, n. 08. Ago. 2016. NAMID/UFPB - <<http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/tematica>>. Acesso em: 25/02/2018.

BRITTO, Fabiane Pereira; BARLETTA, Rodrigo; MENDONÇA, Magaly. Regionalização Sazonal e Mensal da Precipitação Pluvial Máxima no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**. Associação Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente, SP. v. 02, n. 02, p. 35 – 51, 2006.

CRUCIANI, Décio E.; MACHADO, Ronalton E.; SENTELHAS, Paulo C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.

CUNHA, Gilberto Rocca. El Niño oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n.2, p. 277-284, Jul-Dez, 1999.

DA SILVA, Dejjane Fonseca. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. Tese (Doutorado) - em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. 2009.

DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**. São Paulo – SP, n. 103, p. 33-44, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Banco de dados climáticos do Brasil**. Disponível em:<
<https://www.cnpn.embrapa.br/projetos/bdclima/>>. Acesso em: 25/02/2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em:<
https://www.cnpn.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 25/02/2018.

FEDOROVA, Natália. **Meteorologia Sinótica**. Editora e gráfica Universitária-UFPel. v. 2, 242 págs, 2001.

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovani da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, Dezembro, 2005.

- FERREIRA, Rosana Nieto. O que é o El Niño. **Revista Eco 21**, ano XV, n. 101 abril/2005. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas_climaticas/artigos/o_que_e_o_el_ni%C3%B1o.html> Acesso em: 30/05/2018.
- FREITAS, Marcos Airton de Sousa. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE REPRESAS Y OPERACIÓN DE EMBALSES. **Anais** do Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses. Puerto Iguazú: CACIER, v. 1. p. 1-1. 2004.
- FREITAS, Marcos Airton de Sousa. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões SemiÁridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, p. 84-95, 2005.
- GAMARRA, Roberto Macedo et al. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no cerrado. *Revista Ra' e Ga*, Curitiba, v.37, p. 307-332, ago. 2016.
- GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI)**. 2016. Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 25/02/2018.
- GRIMM, Alice M.; FERRAZ, Simone E. T.; GOMES, Júlio. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Nino and La Nina events. *Journal of Climate*, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GROSS, Joceli Augusto; CASSOL, Roberto. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do rio grande do sul. **Revista Geografia Acadêmica**, v.9, n. 2, p. 21-33, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas: Malhas digitais**. IBGE, 2015. Disponível: < <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 25/05/2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Impactos do fenômeno ENOS, 2016**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 30/05/2018.
- LIMA, Denis Barbosa; FILHO, Manuel Rodrigues de Freitas. Análise do Índice de Vegetação como Subsídio ao Estudo de Degradação Ambiental: O Caso da Serra da Meruoca-Ceará. **Geografia**, Londrina-PR, v.24, n. 1, p. 91-105, jan/jun, 2015.
- LOBATO, Rodrigo et al. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v.01, n.01, p.14-22, 2010. Disponível em: <<http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/2/2>>. Acesso em: 30/05/2018.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada/ NDVI, utilizando Krigagem Indicativa. **HOLOS Ambiental**.v.4, n. 1, p. 38-55, 2004.

MARCUZZO, Francisco F. N.; GOULARTE, Elvis R. P. Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**. Jataí-GO, n.19, p. 55-71, jul-dez, 2012.

MARENGO, José A. CUNHA, Ana P. ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, edição comemorativa de 30 anos. INPE, São Paulo - SP, p. 49-54. 2016.

MARENGO, José A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**, in: Medeiros, S. de S., Gheyj, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semiáridas. INSA, Campina Grande, pp. 383- 416, 2011.

MARENGO, José A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. **Boletim do grupo de pesquisas em mudanças climáticas – GPMC**. Edição especial, INPE. São Paulo – SP, 2009.

MARENGO, José A. Mudanças climáticas globais e regionais. Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 16, 1-8, 2002.

MARENGO, José A. OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, Brasília-DF, 1998.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. (2002). Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Meteorológica**, 17, p. 1-10.

NOBRE, Paulo et al. Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI. In: MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande-PB, Cap.14, p. 423-439, 2011. INSA.

NOBREGA, Ranyére Silva.; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 107-118, Jan - Abr. 2014.

NOGUEIRA, Valner Silva. **Influência das anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical na dinâmica e termodinâmica em um ambiente de mesoescala experimental no Estado da Paraíba**. Tese (Doutorado). 173 f. 2014.

OLIVEIRA, Gabriel Cury Martins de; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de. Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica

de Tucuruí-PA utilizando imagens Landsat-5 TM. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, 2015, INPE.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta; HAVENS, Karl. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. Porto Alegre: Artmed, 2016.

PONZONI, Flavio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

REPELLI, Carlos Alberto et al. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLLSMET. **Anais** do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Fllsmet. Brasília DF. 1998.

SALAZZAR, Luis Fernando. **Consequências das mudanças climáticas na distribuição dos biomas na América do Sul com ênfase na Amazônia e Nordeste**. Tese (doutorado em Meteorologia). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Matsumura Takako. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, São Paulo - SP, v. 10, n. 4, 2010.

ZOLMAN, Jody L.; ZIPSER, Edward J; MOHR, Karen I. A Comparison of Tropical Mesoscale Convective Systems in El Niño and La Niña. **Journal of Climate**. 13, p. 3314-3326. 2000.