



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

MARIA JULIANA GONÇALVES LOURENÇO

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTIVEIS AO ESTRESSE
HÍDRICO: UMA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INDICADORES
DE VULNERABILIDADE NOS TERRITÓRIOS DO VALE DO
PIANCO E MEDIO PIRANHAS.**

POMBAL - PB

MAIO – 2016

MARIA JULIANA GONÇALVES LOURENÇO.

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTIVEIS AO ESTRESSE
HÍDRICO: UMA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INDICADORES
DE VULNERABILIDADE NOS TERRITÓRIOS DO VALE DO
PIANCO E MEDIO PIRANHAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. LUÍS GUSTAVO DE LIMA SALES

POMBAL - PB

MAIO - 2016

MARIA JULIANA GONÇALVES LOURENÇO.

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTIVEIS AO ESTRESSE
HÍDRICO: UMA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INDICADORES
DE VULNERABILIDADE NOS TERRITÓRIOS DO VALE DO
PIANCO E MEDIO PIRANHAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ___ de _____ de ___

BANCA EXAMINADORA

Orientador – Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales
(Universidade Federal de Campina Grande - CCTA - UACTA)

Examinador Interno – Prof.^a Dr.^a Virgínia de Fatima Bezerra Nogueira
(Universidade Federal de Campina Grande - CCTA - UACTA)

Examinador Externo – Dr. Valner da Silva Nogueira
(Campina GEOTECH)

Para meus pais, que sempre fizeram o impossível por mim, para meu noivo, que desde o início me acompanhou e apoiou e para Remédios Clemente, a quem considero como segunda mãe.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que sempre me deu forças para continuar e nunca desistir;

A meu pai Antônio Lourenço e a minha mãe Remédios Lourenço, por sempre me incentivarem e me apoiarem e por me proporcionarem condições de chegar aonde estou. A quem considero como segunda mãe, Remédios Clemente, por sempre está presente em minha vida me apoiando;

Ao meu noivo Pedro Henrique, por toda paciência e amor, por sempre me apoiar e está ao meu lado;

Aos meus irmãos, em especial, Artur Moises, por todo apoio, ajuda e conselhos;

A toda a minha família que de formas diferentes sempre me ajudaram.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales, por todos os conhecimentos transmitidos, paciência, profissionalismo, compreensão, amizade e por ter despertado em mim a incessante sede de conhecimento;

A todos os professores da UFCG, que de forma direta ou indireta contribuíram para meu crescimento profissional, em especial a Profa. Dr.^a Virginia de Fátima Bezerra Nogueira e Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz;

Aos meus amigos, Kaio Vinicius, Myrla Freitas, Uigno Jeffson, Jessika Leitão, Ataias Sarmiento e Valcemir Ribeiro que sempre estiveram comigo e me auxiliaram nos momentos de precisão;

A todos que de maneira direta ou indiretamente me ajudaram,
Meu muito obrigada.

Lourenço, M, J, G. **Mapeamento de áreas susceptíveis ao estresse hídrico: uma aplicação dos sistemas de indicadores de vulnerabilidade nos territórios do vale do Piancó e Médio Piranhas.** 2016. 54 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2016.

RESUMO

A região Nordeste é caracterizada por apresentar um clima semiárido, no qual a ocorrência de chuva é irregular, tornando esta área propícia a seca. No ano de 2015, em alguns estados, como é o caso da Paraíba, os reservatórios de água encontram-se com o nível de água em volume morto, colocando alguns municípios em estado de emergência. A utilização de ferramentas que possam auxiliar no processo de construção da informação e do conhecimento sobre a seca é fundamental e facilita a tomada de decisões. Os sistemas de informações geográficas (SIGs) tem sido muito empregado pelos órgãos governamentais, entidades privadas e não-governamentais, com o objetivo, principalmente, de integrar dados espaciais e não espaciais, em seus projetos e estudos relacionados ao meio ambiente. O objetivo geral desse trabalho é a construção de um Sistema de Indicadores de Vulnerabilidade que auxilie no processo de construção da informação e do conhecimento sobre as áreas susceptíveis a estresse hídrico nos territórios do Vale do Piancó e Médio Piranhas no semiárido paraibano.

Palavra-chave: Seca, Escassez Hídrica, Reservatório.

Lourenço, M, J, G. **Mapping of areas susceptible to water stress: an application of systems of indicators of vulnerability in the territories of vale do Piancó and Mean Piranhas.** 2016. 54 fls. Work of Conclusion of Course (Graduation in Environmental Engineering) – Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2016.

ABSTRACT

The Northeast region is characterized by presenting a semiarid climate in which the occurrence of rain is irregular, making is propitious area to dry. In some states, as is the case of Paraíba, water reservoirs are located with the level of water in the dead volume, placing some municipalities in the state of emergency. The use of tools that can assist in the process of construction of knowledge and the information about the drought is fundamental and facilitates decision-making. The SIGs has been very employed by governmental bodies, private entities and non-governmental organizations, with the aim, primarily, to integrate spatial data and non-spatial, in its projects and studies related to the environment. The general objective of this work is the construction of a System of Vulnerability Indicators that will assist in the process of building the information and knowledge about the areas susceptible to water stress in the territories of Vale do Piancó and Mean Piranhas in the semi-arid region of paraiba.

Keyword: Drought, Water Shortage, Reservoir

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critério de severidade adotado pela European Environmental Agency.	18
Tabela 2: Municípios correspondentes aos territórios rurais do vale do Piancó e do médio Piranhas.	25
Tabela 3: Reservatórios e seus respectivos municípios abastecidos.....	29
Tabela 4: Indicadores de vulnerabilidade.	31
Tabela 5: Classes do índice de anomalia a chuva.	32
Tabela 6: Variabilidade da série histórica de vazões.	34
Tabela 7: Não – estacionariedade da série histórica de vazões.	35
Tabela 8: Interação dos sub – parâmetros.	35
Tabela 9: Indicador da vulnerabilidade as mudanças climáticas.....	35
Tabela 10: Interação entre a vulnerabilidade e razão de uso.....	36
Tabela 11: Índice de estresse hidrológico.	36
Tabela 12: Classificação dos indicadores em positivo ou negativos.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.	24
Figura 2: Rios da bacia Piranhas-Açu que cortam os territórios rurais.....	26
Figura 3: Reservatórios que abastecem os municípios do médio Piranhas e do vale do Piancó.....	28
Figura 4: Mapa de exposição dos reservatórios de cada município - 2004.....	43
Figura 5: Mapa de exposição dos reservatórios de cada município - 2009.....	44
Figura 6: Mapa da sensibilidade dos reservatórios – 2000 a 2004	47
Figura 7: Mapa da sensibilidade dos reservatórios – 2005 a 2009.	48
Figura 8: Mapa da capacidade adaptativa dos reservatórios.	50
Figura 9: Mapa da vulnerabilidade dos reservatórios 2000 – 2004.....	52
Figura 10: Mapa da vulnerabilidade dos reservatórios 2005 – 2009.....	53

LISTA DE SIGLAS

AESA – Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA – Agencia Nacional das Águas

GEE – Gases do Efeito Estufa.

IAC – Índice de Anomalia a Chuva

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

SIG – Sistema de Informações Geográficas

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	x
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	14
2.1. RISCOS E VULNERABILIDADE.....	14
2.2. ESTRESSE HÍDRICO	16
2.2.1. Razão de usos dos recursos hídricos.	19
2.2.2. Vulnerabilidade as mudanças climáticas	19
2.3. GEOPROCESSAMENTO.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODO	24
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	24
3.2. MÉTODO UTILIZADO	30
3.3. SOFTWARES DE COMPUTADOR	30
3.4. INDICADOR DE VULNERABILIDADE DOS RESERVATÓRIOS.....	30
3.4.1. Índice de Anomalia de Chuva (IAC).....	31
3.4.2. Índice de Aridez.....	32
3.4.3. Indicador de sensibilidade: Estresse Hidrológico	33
3.4.4. Porcentagem de famílias atendidas por poços	37
3.4.5. Porcentagem de famílias atendidas por cisternas.....	38
3.4.6. Porcentagem dos estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada.	38
3.5. NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES.....	39
3.6. ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. ANÁLISE DO ÍNDICE DE EXPOSIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.	42
4.2. ANÁLISE DO ÍNDICE DE SENSIBILIDADE DOS RESERVATÓRIOS.....	45
4.3. ANÁLISE DA CAPACIDADE ADAPTATIVA DOS RESERVATÓRIOS.....	49
4.4. ANALISE GERAL DA VULNERABILIDADE.....	51
5. CONCLUSÃO	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Os eventos extremos mais comuns que ocorrem no Brasil estão relacionados com os recursos hídricos. Esses eventos não são nenhuma novidade. No decorrer das décadas, a humanidade desenvolveu uma boa perspectiva da frequência dessas mudanças. Contudo, desde a segunda metade do século XX, notou-se um aumento significativo nos eventos extremos tanto em termo de quantidade, como de intensidade (MARENGO, 2006).

O conceito dado aos recursos naturais, em específico a água, como um bem ilimitado vem sendo extinguido. Nas últimas décadas este precioso recurso está sendo reduzido, não apenas por consequências dos eventos climáticos extremos, mas pela falta de gestão pela parte do governo e pela falta de consciência e educação por parte da população.

O Nordeste brasileiro sempre sofreu com a escassez hídrica nos períodos de seca e recentemente essa região passa por uma das piores secas já registradas. No ano de 2015, em alguns estados, como é o caso da Paraíba, os reservatórios de água utilizados para o abastecimento humano, a dessedentação de animais e para a agricultura encontram-se com o nível de água em volume morto, colocando alguns municípios em estado de emergência.

Diante desse contexto, percebe-se a vulnerabilidade da população aos eventos extremos que é cada vez mais corriqueiro e de intensidades maiores. A existência do risco da escassez hídrica como um dos resultados desses eventos extremos na região é iminente e perceptível. Portanto, há a necessidade de um maior planejamento de situações de seca que procure promover a criação de políticas de gestão baseadas em ações que tenham como objetivo melhorar a previsão ou alerta precoce de situações de seca (MENDES *et al*, 2008). No que se refere ao sertão da Paraíba, o planejamento destas situações encontra-se em fase rudimentar.

Diante deste contexto, parte-se da premissa de que quanto maior for o acesso a informação e o conhecimento sobre os riscos e incertezas dos eventos climáticos extremos menor será as vulnerabilidades das pessoas da região semiárida.

Desta forma, parte – se do pressuposto que a utilização de ferramentas que possam auxiliar no processo de construção da informação e do conhecimento sobre os riscos e incertezas é fundamental. Ganha destaque nessa discussão a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na modelagem de recursos hídricos que vem se expandindo justamente em face da necessidade de manipulação de uma extensa massa de dados no processo de modelagem e das suas ferramentas que pode oferecer, compondo também a estrutura de alguns modelos visando a obtenção de informações físicas e climáticas de bacias hidrográficas, rios e reservatórios, levando em consideração a variabilidade espacial desses parâmetros (DURÃES, 2013).

Os SIG são ferramentas computacionais para Geoprocessamento que proporciona uma estrutura espacial capaz de auxiliar nas tomadas de decisões para o uso racional dos recursos existentes. Tem sido muito empregado pelos órgãos governamentais, entidades privadas e não-governamentais, com o objetivo, principalmente, de integrar dados espaciais e não espaciais, em seus projetos e estudos relacionados ao meio ambiente (EMBRAPA, 2007).

Neste contexto o presente trabalho tem como principal objetivo a construção de um Sistema de Indicadores de Vulnerabilidade que auxilie no processo de construção da informação e do conhecimento sobre as áreas susceptíveis ao estresse hídrico nos territórios do Vale do Piancó e Médio Piranhas no semiárido paraibano.

Para tanto, alguns objetivos específicos, a saber:

- Adaptar um sistema de indicador capaz de identificar os riscos e vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos e ao estresse hidrológico;
- Aplicar o sistema de indicador adaptado, espacializando os resultados, as realidades dos territórios do Médio Piranhas e do Vale do Piancó, verificando assim sua aplicabilidade;

O corpo do trabalho encontra-se dividido em 4 capítulos, além deste de introdução. No Capítulo 2, apresenta a revisão bibliográfica, a qual contém os seguintes tópicos principais: (1) Riscos e Vulnerabilidade, (2) Estresse Hídrico e (3) Geoprocessamento; No Capítulo 3, é feita a caracterização física da bacia estudada, a descrição das etapas metodológicas e a descrição dos indicadores

utilizados. No Capítulo 4, os resultados da aplicação dos indicadores e; finalmente, no Capítulo 5 encontram-se as conclusões do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Esse capítulo aborda a construção teórica do trabalho final de curso apoiado em dois principais tópicos: a) a discussão sobre o conceito de Risco e Vulnerabilidade e; b) a discussão sobre o Estresse Hídrico e a importância do Sistema de Indicadores voltados para os Recursos Hídricos.

Vale salientar que as discussões foram pontuais e serviram para dar o suporte teórico necessário para a construção do Sistema de Indicadores de Vulnerabilidade

2.1. Riscos e vulnerabilidade.

Os primeiros estudos científicos envolvendo o conceito de risco possuíam uma forte orientação objetivista, tendo como pressuposto o entendimento da realidade como um dado, ou seja, passível de mensuração (MARANDOLA JR; HOGAN, 2005).

Segundo Guivant (2001), o desenvolvimento da ciência e da tecnologia não poderiam mais dar conta da ameaça e controle de riscos que contribuiu decisivamente para criar e que geram consequências de alta gravidade para a saúde humana e para o meio ambiente, desconhecidas a longo prazo e que, quando descobertas, tendem a ser irreversíveis.

Os conceitos de risco têm sido utilizados em diversas ciências e ramos do conhecimento e adaptados segundo os casos em questão. Nessas situações, frequentemente, o termo riscos é substituído ou associa-se a potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais.

Risco, para Silva *et al* (2012), é definido por toda e qualquer possibilidade de que algum elemento ou circunstância existente num dado processo possa causar danos à saúde ou impacto ao meio.

Para Guivant (2001), o conceito de sociedade de risco se cruza diretamente com o de globalização uma vez que os riscos são democráticos, afetando nações e classes sociais sem respeitar fronteiras de nenhum tipo.

Risco é um tema complexo, que aborda a probabilidade de ocorrência de um evento adverso, com danos ao homem e/ou ao meio ambiente. Em termos técnico pode-se dizer que o risco (R) é função das ameaças (A) e da vulnerabilidade (V) dos elementos ameaçados $\{R=f(A*V)\}$, resultando, portanto, na interação das ameaças ou perigo e as condições de fragilidade e exposição dos elementos sociais, ou ambientais, ameaçados (IBGE, 2002).

Ao ser ampliado para abarcar as questões ambientais, o conceito de risco passa a ter conotações que remetem a uma ampla gama de fatores. Especificamente remete a relação entre dinâmica social e aspectos ambientais, passando a ser importante a perspectiva da vulnerabilidade ambiental. As vulnerabilidades, que podem ser de diversas ordens, podem ser definidas a partir dos riscos, que também podem ser diversificados, dependendo do perigo ao qual estão referidos (PBMC, 2014).

De acordo com Cunico e Oka-Fiori (2014), as décadas de 1960 e 1970 previram o surgimento de muitos problemas ambientais em diferentes escalas de abrangência, remetendo para os centros das discussões científicas e políticas a necessidade de difundir conceitos que estão associados à garantia do bem-estar individual e social sem prejudicar a saúde ambiental.

Tendo em vista a maior visibilidade dos problemas ambientais e suas consequências, os conceitos de vulnerabilidade e de risco vem ganhando destaque no cenário atual.

Afirma-se que o conceito de vulnerabilidade comporta a relação humana, física e social, assumindo assim uma perspectiva holística e eminentemente complexa (CUNICO E OKA-FIORI, 2014).

De acordo com Adger (2006), a vulnerabilidade está relacionada com o estado de susceptibilidade a danos causados por exposição a pressões associada com as mudanças ambiental e social e da ausência da capacidade de adaptação.

Definições de vulnerabilidade, usualmente atrelam esse conceito a um ou mais dos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta do sistema. O estudo desses fatores permite a avaliação da maior ou menor vulnerabilidade de um sistema a determinadas questões ambientais. A exposição significa o grau, duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações. A sensibilidade está

relacionada a extensão ou ao grau em que um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações no longo prazo. A capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a danos ocorridos, fazer uso de recursos ou oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer. Nesse contexto, um sistema é mais vulnerável quanto maiores as pressões, maior a sensibilidade do meio e menor sua capacidade adaptativa (EMBRAPA, 2010).

2.2. Estresse Hídrico

A variabilidade do clima e a escassez hídrica são marcas indelévels do semiárido. Conviver com o semiárido é adaptar a sociedade a uma forma específica da ocorrência do clima na região. Neste sentido, a construção de infraestrutura hídrica, o gerenciamento dos recursos hídricos e o gerenciamento do risco climático são caminhos necessários para a construção de uma estratégia robusta de adaptação das sociedades do semiárido a natureza (INSA, 2011).

Segundo o Insa (2011), a disponibilidade hídrica sobre uma região é o resultado do balanço entre o abastecimento e a demanda de água no ciclo hidrológico. Regiões semiáridas tropicais, dentre as quais se enquadra o Nordeste do Brasil, se caracteriza por um regime pluviométrico concentrado durante os meses de fevereiro a maio com elevada variação ano a ano.

Desta forma, a disponibilidade hídrica para abastecimento humano, animal e agrícola, é relativamente escassa, sendo sua disponibilidade controlada no decorrer dos anos por fenômenos climáticos globais, tais como os campos de temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, que regulam o deslocamento e a intensidade da zona de convergência intertropical (ZCIT), principal fenômeno atmosférico responsável pela ocorrência de precipitações pluviométricas sobre o semiárido brasileiro (INSA, 2011).

Nessas condições, verifica-se a utilidade de um sistema de gestão, que leve em conta as características do reservatório, e que seja capaz de avaliar conceitualmente os efeitos de diferentes cenários de consumo de água, podendo assim, caracterizar, de modo pelo menos estimativo, o grau de

exigência a que o reservatório está submetido, em termos de sua disponibilidade hídrica (DURÃES, 2010).

Segundo a Ana (2007), apesar dos avanços na gestão de recursos hídricos no Brasil, as vazões ambientais são estabelecidas indiretamente por meio da outorga não havendo dispositivos legais específicos para este fim.

De acordo com Galvão (2008), no país a outorga é definida segundo critérios hidrológicos e estatísticos, não sendo utilizados estudos ecológicos e socioeconômicos que relacionam os limites estabelecidos para vazões outorgáveis e de restrição com os dados hidrológicos já existentes, garantindo de forma integrada, as reais necessidades dos ecossistemas e das populações que dependem deles para sua sobrevivência.

Embora o empenho no gerenciamento dos recursos hídricos, a escassez hídrica vem aumentando significativamente no Brasil, principalmente na Região Nordeste.

A escassez hídrica e a redução na disponibilidade de água acarretam por uma maior procura a esse recurso, ocasionando um estresse hídrico na região.

O conceito de stress hídrico está baseado nas necessidades mínimas de água *per capita* para manter uma qualidade de vida adequada em regiões moderadamente desenvolvidas situadas me zonas áridas, tendo como pressuposto o consumo de 36,5 m³/ano, correspondendo a 100 litros diários, e que representa o requisito mínimo para suprir as necessidades domésticas e manutenção de um nível adequado de saúde. Este conceito foi desenvolvido por Beekman em 1999 (CARVALHO, 2004, p. 03).

Segundo a Fiocruz (2015), o estresse hídrico é considerado como o número de dias consecutivos sem chuva.

A Comissão de Recursos Hídricos do estado americano de Massachusetts desenvolveu um estudo para definir o estresse hidrológico, sendo este definido quando uma bacia ou sub-bacia tem a quantidade de sua vazão significativamente reduzida (BRANDT *et al*, 2008).

Outra abordagem que também pode ser avaliada para determinar o grau de estresse ao qual um determinado curso está sujeito é aquele utilizado pela *European Environmental Agency* e a Organização das Nações Unidas, apresentado na Tabela 1, o qual representa o atendimento às demandas ante

as disponibilidades hídricas, considerando a relação entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (PNRH, 2006).

Tabela 1: Critério de severidade adotado pela European Environmental Agency.

Nível	Critério
Excelente	Razão entre retirada e vazão de referência em até 5%
Confortável	Razão entre retirada e vazão de referência de 5 a 10%
Preocupante	Razão entre retirada e vazão de referência de 10 a 20%
Crítica Razão	Razão entre retirada e vazão de referência de 20 a 40%
Muito Crítica	Razão entre retirada e vazão de referência acima de 40%

Fonte: Galvão (2008)

Nessa linha de estudo o uso de indicadores e índices permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, podendo ser um dado individual ou agregado de informações (DURÃES, 2010).

De acordo com Rogers (2003) *apud* Brandt *et al.* (2008), há um considerável interesse no uso de indicadores e índices para descrever o complexo comportamento da água e dos sistemas ambientais e para estimar o “status” ambiental e o correspondente impacto em nível regional e local e, na mesma linha, Gao *et al.* (2008) mostram que para entender os efeitos de operação de reservatórios e outras formas de regular um rio, indicadores são necessários para avaliar a sua “saúde” hídrica e o grau de alteração hidrológica causada por uma certa política de uso dos recursos hídricos.

Para Galvão (2008), o estresse hídrico é o indicador que estima o nível de impacto ao qual o curso d’água está sendo submetido, por meio do balanço entre oferta e demanda, levando tanto em conta os efeitos da extração de água, como também impactos climáticos nos corpos hídricos. Esse indicador é

o resultado da combinação de dois parâmetros: Razão de uso dos recursos hídrico (Ru) e a vulnerabilidade as mudanças climáticas, conforme demonstra o esquema abaixo.

2.2.1. Razão de usos dos recursos hídricos.

A Razão de Uso dos Recursos Hídricos (Equação 1) é uma importante medida de impacto na vazão, pois relaciona a quantidade de água disponível com quantidade de água retirada do curso d'água, fundamento semelhante é utilizado pelo MWSP e pelo PNRH. Esse parâmetro leva em consideração a demanda na saída, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões, (GALVÃO, 2008).

$$Ru = \frac{Q_d}{Q_{med}} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Ru = Razão de uso dos recursos hídricos.

Qd= Demanda (m³/s) no mês mais crítico.

Qmed= Vazão média da série estudada.

A razão de uso é analisada através do seu valor, se a porcentagem de uso dos recursos hídricos for menor que 20%, sua razão de uso é considerada baixa, se o valor estiver no intervalo entre 20 e 50%, a razão de uso é média e se for acima de 50%, ela é alta (DEL; MOREIRA; FILHO, 2011).

2.2.2. Vulnerabilidade as mudanças climáticas

Embora haja uma considerável incerteza sobre a trajetória futura da mudança climática, relacionada em parte com a quantidade e a taxa de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), as consequências das mudanças representam uma ameaça sem precedentes à segurança humana (O'BRIEN E LEICHENKO, 2008).

Mudanças nos padrões de enchentes e secas em algumas regiões indicam que as condições hidrológicas têm se alterado. Ameaças significativas em relação a enchentes, evaporação e evapotranspiração não têm sido bem

detectadas globalmente e exigem estudos mais detalhados regionalmente. Algumas ameaças na redução dos níveis dos reservatórios e de lagos naturais têm sido reportadas, mas parecem estar muito mais associadas às atividades humanas do que propriamente a mudanças do clima global (IPCC, 2007).

O setor de recursos hídricos tem que aperfeiçoar seus métodos e práticas para melhor enfrentar os desafios de um mundo em mudança, no qual as variáveis hidrológicas não podem mais ser consideradas estacionárias (MILLY *et al.*, 2008).

O segundo parâmetro para mensuração do estresse hídrico é o parâmetro respectivo à Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas, que caracteriza a vulnerabilidade da bacia hidrográfica frente às mudanças climáticas, classificando-a em três níveis: baixo (B), médio (M) e alto (A).

Ele é calculado por meio da associação de dois subparâmetros, variabilidade climática e a não-estacionariedade, que observam o coeficiente de variação da série histórica de vazões (variabilidade), e do grau de estacionariedade das séries históricas de vazões. Quanto maiores forem os sub - parâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade maior será a vulnerabilidade dos ecossistemas, e da sociedade que faz uso desses recursos, a eventos extremos (GALVÃO, 2008).

A variabilidade hidrológica é entendida com as alterações que possam ocorrer na entrada e saídas dos sistemas hidrológicos. As principais entradas são a precipitação e a evapotranspiração (que depende de outras variáveis climáticas), enquanto que as principais saídas são o nível e a vazão de um rio (TUCCI, 2002).

A variabilidade, neste caso, é considerada por meio do coeficiente de variação das vazões no período estudado (GALVÃO, 2008). Este parâmetro elevado está associado à ocorrência de eventos extremos mais severos que em regiões de menor variabilidade (SOUZA FILHO, 2003). Com a alteração dessas condições climáticas, o escoamento proveniente também se altera (TUCCI e MENDES, 2006).

Uma alta variabilidade climática e conseqüentemente hidrológica torna a região mais vulnerável a esses eventos, necessitando de rigorosos critérios de outorga e gestão de recursos hídricos (GALVÃO, 2008).

A estacionariedade da série de vazões, que pode ser estimada utilizando-se o teste de SALAS (1993). Segundo este, uma série de vazões é considerada estacionária se for livre de tendências, variações ou periodicidades. A não-estacionariedade pode ocorrer por um ou mais dos seguintes fatores: variabilidade climática no período amostrado, mudança climática ou modificação do uso do solo (TUCCI e BRAGA, 2003).

Os valores que combinam os sub - parâmetros para estimativa da vulnerabilidade a mudanças climáticas são criados por meio de níveis (alto, médio e baixo) e seus respectivos valores (1, 2 e 3) (GALVÃO, 2008).

De acordo com Galvão (2008), a interação dos sub - parâmetros variabilidade e não - estacionariedade possibilita o cálculo final para vulnerabilidade a mudanças climáticas.

Ainda segundo Galvão (2008), quanto maiores forem os sub - parâmetros de variabilidade e não - estacionariedade, maior será a vulnerabilidade do ambiente e da sociedade que faz uso desses recursos a eventos extremos.

Através da interação dos parâmetros da razão de uso dos recursos hídricos – Ru e a vulnerabilidade as mudanças climáticas, obtém-se o indicador de estresse hídrico.

Quanto maiores forem os parâmetros de vulnerabilidade a mudanças climáticas e da razão de uso dos recursos hídricos, maior será o estresse hídrico e mais vulnerável vai estar o reservatório, no que se refere a oferta e demanda de água, e susceptibilidade a eventos climáticos extremos (GALVÃO, 2008).

2.3. Geoprocessamento

O geoprocessamento tem sido muito empregado pelos órgãos governamentais, entidades privadas e não-governamentais, com o objetivo, principalmente, de integrar dados espaciais e não espaciais, em seus projetos e estudos relacionados ao meio ambiente (EMBRAPA, 2007).

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados

geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (NERIS, 2011).

Para Pontes (2002), geoprocessamento se define como:

Conjunto de técnicas e metodologias de armazenamento, processamento, automação e utilização de imagens para tomada de decisões.

Silva (2009), define geoprocessamento como sendo, "... um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante..."

Na gestão de recursos hídricos, essas ferramentas, se apresentam como uma solução eficiente e rápida, a fim de garantir segurança hídrica de abastecimento e impedir uma convulsão social inevitável nesses tempos de seca: o estresse hídrico (PAIVA, 2015).

Segundo Paiva (2015), os recursos SIGs apresentam a vantagem de se gerar informações e relatórios em formas de mapas que facilitam a compreensão do usuário mais leigo. Isso ajuda no predomínio do uso de mapas na comunicação com a sociedade.

Os referidos sistemas compõem o ambiente de inteligência que dá suporte de forma lógica e estruturante à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, além de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados. Esta tecnologia tem sido alvo de crescente utilização no planejamento ambiental com forte adesão na gestão dos recursos hídricos (INPE, 2011).

Segundo Mendes (1996), a utilização de técnicas de geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água.

Neste contexto, os SIGs inserem-se como uma ferramenta que tem capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo economia de recursos e tempo.

Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (imagens de satélite, informações topográficas, cartas de solos, hidrografia,

etc.) e em diferentes escalas. O resultado destas manipulações geralmente é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

Por meio de um sistema de referência adequado, portanto, o geoprocessamento transfere, sobre bases cartográficas, as informações do mundo real para o sistema computacional. Dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes e das relações topológicas existentes (BALDISSERA, 2005).

Eastman (1999) *apud* Durães (2010) demonstra que existem basicamente, dois formatos para a representação de dados espaciais em um SIG, quais sejam o vetorial e o *raster*. No formato vetorial, os limites das feições são definidos por pontos, linhas ou polígonos, sendo os atributos armazenados separadamente. No formato *raster*, a representação gráfica das feições e atributos é unificada em subunidades denominadas de células ou *pixels*.

Segundo Madruga *et al.* (1999) *apud* Durães (2010), a utilização de SIG e sensoriamento remoto propicia dados quantitativos e qualitativos, além de um conhecimento dos recursos; as características sócio-econômicas de uma região constitui em um embasamento para identificação e utilização sustentada, ou desenvolvimento de determinada atividade, indicando áreas ou locais que devem ser trabalhados ou preservados.

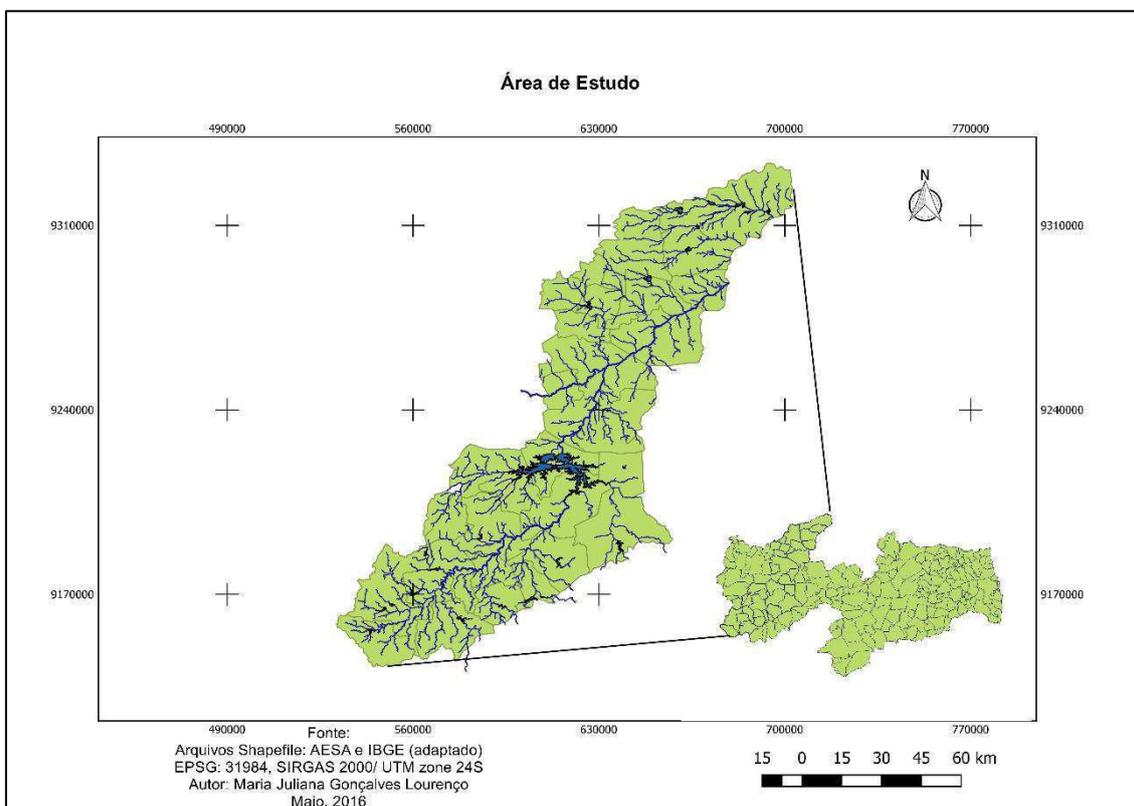
Para Schmugge *et al.* (2002), nos estudos hidrológicos a possibilidade de obtenção da variabilidade espacial e temporal a intervalos constantes é muito adequada para estudos de balanço de energia e hídrico, ressaltando assim, a importância da necessidade dos SIGs.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Descrição da área de estudo.

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), o estado da Paraíba possui aproximadamente 3.972.202 habitantes distribuídos em 223 municípios correspondentes a uma área de 56.496,744 Km². Este estado possui 15 territórios rurais estando entre eles os territórios rurais do médio Piranhas e do vale do Piancó, localizados na mesorregião do sertão paraibano (Figura 1), e contam com 16 e 19 municípios respectivamente.

Figura 1: Localização da área de estudo.



Na tabela 4.1 é possível visualizar os municípios correspondentes a estes territórios.

Tabela 2: Municípios correspondentes aos territórios rurais do vale do Piancó e do médio Piranhas.

Território Rural do Médio Piranhas	Território Rural do Vale do Piancó
Belém do Brejo do Cruz	Aguiar
Bom Sucesso	Boa ventura
Brejo do Cruz	Conceição
Brejo dos Santos	Coremas
Cajazeirinhas	Curral Velho
Catolé do Rocha	Diamante
Jerico	Emas
Lagoa	Ibiara
Mato Grosso	Igaracy
Paulista	Itaporanga
Pombal	Nova Olinda
Riacho dos Cavalos	Olho d' Água
São Bentinho	Pedra Branca
São Bento	Piancó
São Domingos	Santa Inês
São José do Brejo do Cruz	Santana de Mangueira
	Santana dos Garrotes
	São José de Caiana
	Serra Grande

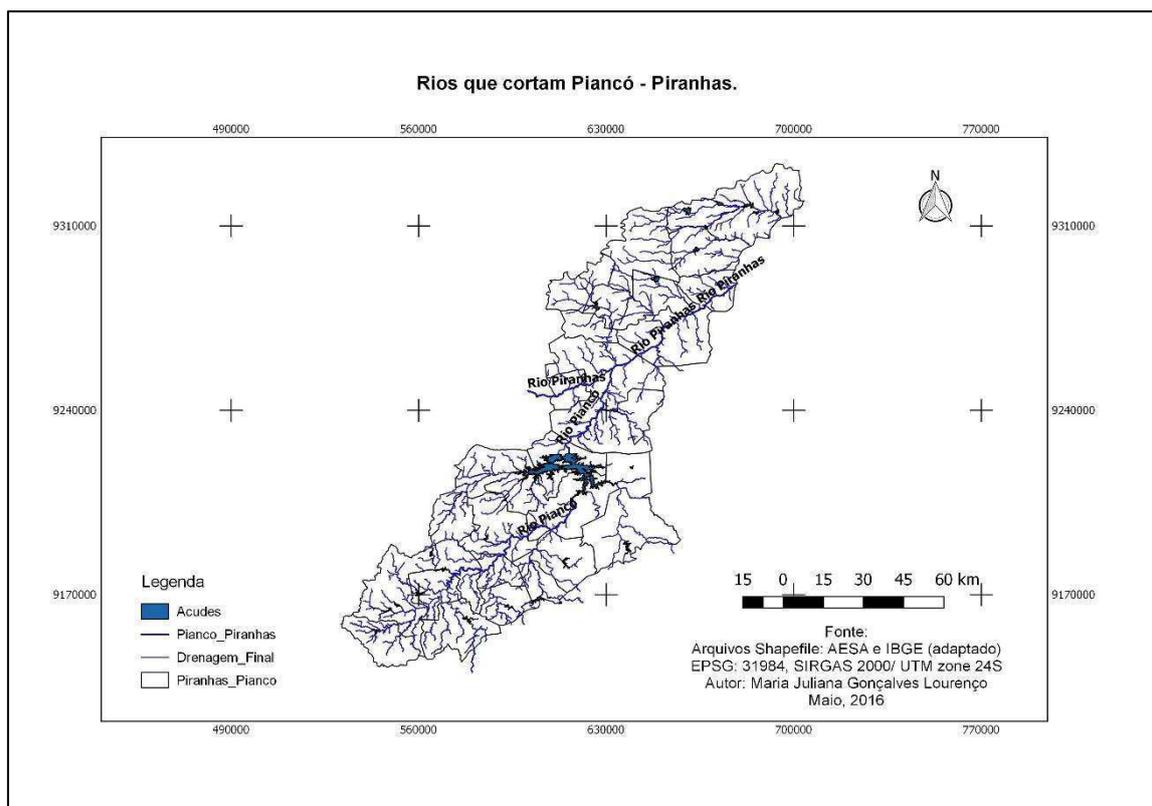
Fonte: Autoria Própria.

Esses municípios compõem parte da bacia hidrográfica Piranhas-Açu (Figura 4.2). De acordo com a Ana (2013), o Rio Piranhas-Açu possui 405 quilômetros de extensão e é o principal rio desta bacia. Sua nascente se encontra no município de Bonito de Santa Fé, na Paraíba, na fronteira deste Estado com o Ceará.

Totalmente inserido em território semiárido, a bacia apresenta chuvas concentradas em poucos meses do ano e um padrão de forte variabilidade

interanual que ocasiona a alternância entre anos de pluviosidade regular e anos de prolongada escassez hídrica, que produzem secas prolongadas (ANA, 2013).

Figura 2: Rios da bacia Piranhas-Açu que cortam os territórios rurais.



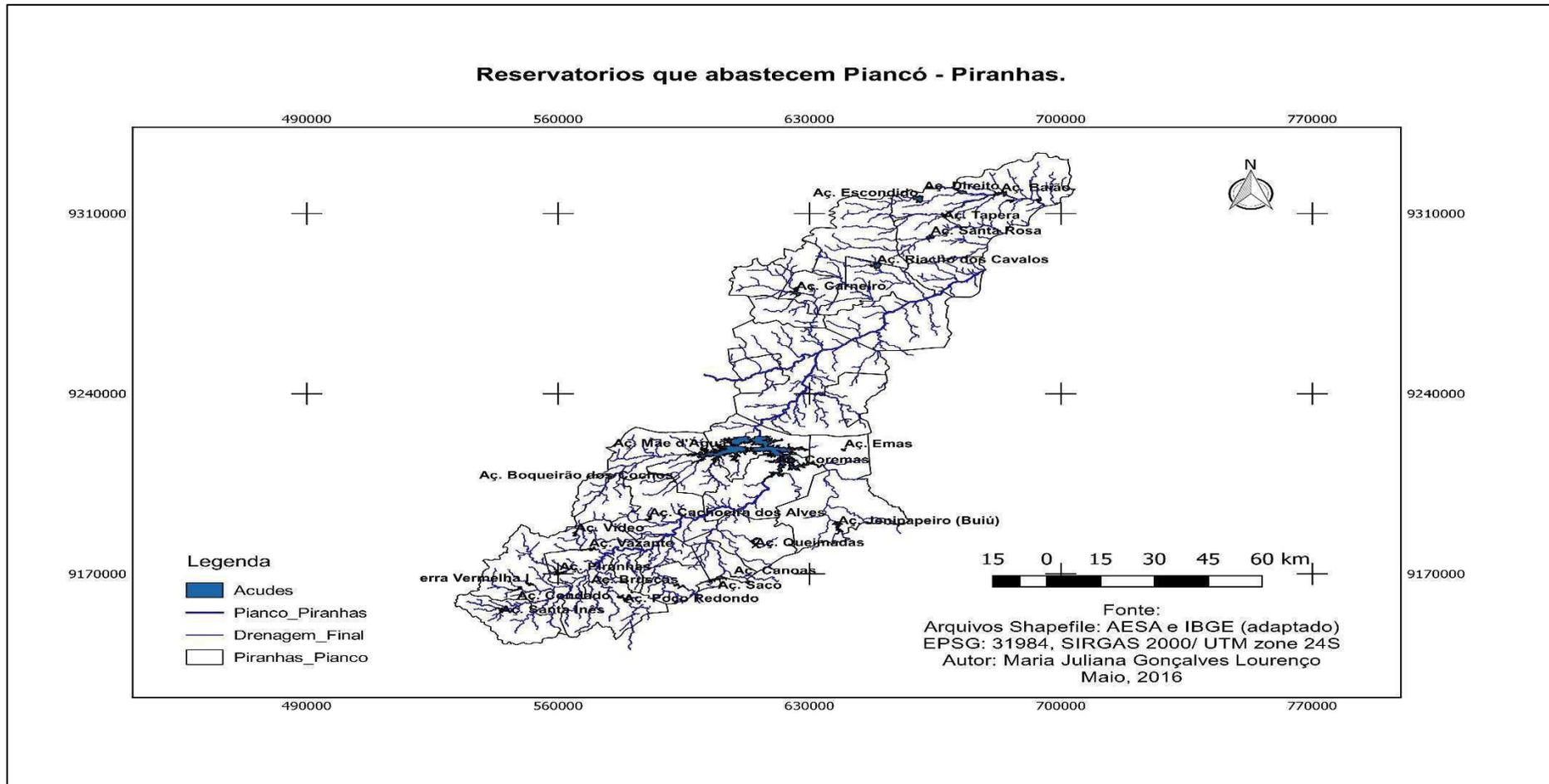
No estado da Paraíba, o rio Piranhas (com esta denominação) forma um sistema hidrográfico constituído pelos seus alto e médio cursos, pelas bacias dos rios do Peixe e Piancó, e parte das bacias dos rios Espinharas e Seridó. Estes quatro rios são seus principais afluentes (o primeiro, pela margem esquerda, e os três últimos, pela margem direita). Ainda na Paraíba, o Rio Piranhas recebe contribuição de outros cursos d'água de menor porte que os anteriores citados, de regime intermitente. Na sua margem direita, destacam-se os riachos Campos, Cachoeira, da Corda e do Trapiá e na margem esquerda, deságuam os riachos Paraguai, Solidão e Tamanduá (ANA, 2013).

O rio Piranhas-Açu, como a maioria dos rios do semiárido nordestino, à exceção do rio São Francisco e do Parnaíba, é um rio intermitente em condições naturais. Sua perenização ocorre através de dois reservatórios de regularização construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS: Curema-Mãe d'Água, na Paraíba, e Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte (ANA, 2013).

Curema-Mãe d' Água é um dos principais reservatórios que abastece parte dos municípios dos territórios do Médio Piranhas e do Vale do Piancó.

Além dele outros 24 reservatórios auxiliam no abastecimento desses municípios (Figura 3).

Figura 3: Reservatórios que abastecem os municípios do médio Piranhas e do vale do Piancó.



Cada um dos reservatórios que estão inseridos nos territórios rurais abastece um ou mais municípios, conforme a tabela 3. O açude de Coremas/Mãe d' água além dos três municípios citados abaixo, abastece mais 13 municípios que não fazem parte dos territórios.

Tabela 3: Reservatórios e seus respectivos municípios abastecidos.

AÇUDES/RIOS	MUNICÍPIO	POÇOS	MUNICÍPIOS
Açude Frutuoso II	Aguiar	2 poços	Boa Ventura
Tapera	Belém do Brejo do Cruz	1 poço	Cajazeirinhas
Santa Rosa	Brejo do Cruz	Conceição 2	Conceição
Rio Piranhas	Catolé do Rocha	2 Poços Amazonas (Rio Piancó)	Diamante
	São Bento	Poço Amazonas (Rio Piranhas)	Paulista
	Pombal	Poço Santa Inês	Santa Inês
Açude Carneiro		Poço Amazonas (Riacho Santana)	Santana de Mangueira
	Bom Sucesso	2 Poços Amazonas	São Domingos de Pombal
	Brejo dos Santos		
Açude Carneiro - Mato Grosso	Lagoa		
	Jericó		
Açude Serra Vermelha	Mato Grosso		
	Conceição		
Açude Coremas/Mãe d' água	Coremas		
	Piancó		
	São Bentinho		
Açude Bruscas	Curral Velho		
Açude Emas	Emas		
Açude Riacho dos Cochos	Igaracy		
Açude Cachoeira dos Alves	Itaporanga		
Açude Saco	Nova Olinda		
Açude Genipapeiro	Olho D' água		
Açude Minador	Pedra Branca		
Açude Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos		
Barragem de Queimadas	Santana dos Garrotes		
Açude Pimenta	São José de Caiana		
Açude Cafundó	Serra Grande		
Açude Piranhas	Ibiara		
Açude Baião	São José do Brejo do Cruz		

Fonte: Autoria Própria.

3.2. Método Utilizado

Para a realização deste trabalho foi necessário a adoção de alguns procedimentos e técnicas de pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica junto a Biblioteca do CCTA/UFCG, bem como a artigos científicos especializados sobre a temática junto a sites como periódico capes e *google academic*;
- Pesquisa de dados secundários junto ao banco de dados da Agência Nacional das Águas (ANA), Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);

3.3. Softwares de computador

Os seguintes programas foram utilizados para a espacialização dos dados de entrada.

- Software QGIS 2.14;
- Microsoft Office Excel 2013.

3.4. Indicador de vulnerabilidade dos reservatórios

Entende-se por vulnerabilidade ambiental a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental, considerando-se a exposição do sistema às pressões ambientais, a sensibilidade do sistema às pressões exercidas e a capacidade de resposta do meio (capacidade adaptativa) (FIGUEIRÊDO et al., 2010).

Neste estudo foram considerados os indicadores expostos na tabela 4 para cada reservatório.

Tabela 4: Indicadores de vulnerabilidade.

EXPOSIÇÃO	INDICADORES
	INDICE DE ARIDEZ
SENSIBILIDADE	ESTRESSE HIDROLÓGICO NO ABASTECIMENTO HUMANO
	ESTRESSE HIDROLÓGICO NA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL
	ESTRESSE HIDRÓLOGICO NA AGRICULTURA
CAPACIDADE ADAPTATIVA	% DE FAMÍLIAS ATENDIDAS POR POÇOS
	% DE FAMÍLIAS ATENDIDAS POR CISTERNAS
	% DOS ESTABELECIMENTOS AGROPECUARIOS QUE UTILIZAM AGRICULTURA IRRIGADA

Fonte: Adaptado de Galvão (2008) e Rosendo (2014).

3.4.1. Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Calcularam-se as médias temporais da precipitação para o período de estudo, necessárias para o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), o qual serve para classificar períodos secos ou úmidos. Utilizou-se neste trabalho o IAC desenvolvido e testado por Rooy (1965) apud Rosendo (2014), o qual é apresentado pelas seguintes equações 2 e 3:

Para anomalias positivas:

$$IAC=3 * \left[\frac{(N-N')}{M'-X'} \right] \quad \text{Equação 2}$$

Para anomalias negativas:

$$IAC=(-3) * \left[\frac{(N-N')}{M'-X'} \right] \quad \text{Equação 3}$$

Onde, **N** compreende a precipitação total (mm) do ano que será gerado o IAC; **N'** corresponde à média (anual) da série histórica (mm); **M'** representa a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm) e, **X'** compreende a média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

A seleção da série histórica de precipitações dos municípios foi obtida através dos dados disponibilizados pela AESA. Os dados compreendem 22 anos (1994-2015) de série histórica, com exceção dos municípios de Cajazeirinhas, Pombal e São Bentinho, no qual não apresentam dados disponíveis para os anos de 1994 a 1998. Para esses municípios foi utilizada uma série histórica de 17 anos (1999-2015). O município de Mato Grosso e Santa Inês só apresentam dados do ano de 2004 a 2015.

A classificação do índice de anomalia a chuva é feita a partir da tabela 5.

Tabela 5: Classes do índice de anomalia a chuva.

Faixa do IAC	Classe de intensidade
De 4 acima	Extremamente úmido
2 a 4	Muito úmido
0 a 2	Úmido
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito seco
De -4 abaixo	Extremamente seco

Fonte: Sanchez et al (2014)

3.4.2. Índice de Aridez

A aridez é a característica do clima que relaciona a escassez de precipitação, onde o grau de aridez de certa região depende da quantidade de água proveniente da precipitação e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração, ou Evapotranspiração Potencial.

Os dados de aridez para os municípios, são provenientes de um estudo realizado por pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), uma contribuição para o Plano Nacional de Controle de Desertificação (PAN BRASIL), esta pesquisa calculou o índice de aridez para todos os municípios do Nordeste Brasileiro conforme a metodologia proposta pelas Nações Unidas.

De acordo com Costa e Brito (2004) o referido trabalho utilizou dados de precipitação para a série de 38 anos (1961 - 1999), provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), SUDENE e escritórios regionais e a evapotranspiração potencial foi calculada pela equação de Penman, modificada por Montheith e parametrizações de Allen *et al.* (2004), utilizando dados das estações meteorológicas do INMET e escritórios regionais.

O índice de aridez proposto pelas Nações Unidas é obtido através da equação 4.

$$IA = \frac{Pr}{ETP} \quad \text{Equação 4}$$

Onde **Pr** corresponde a precipitação média anual, **ETP** é a evapotranspiração potencial média anual e **IA** é o índice de aridez.

3.4.3. Indicador de sensibilidade: Estresse Hidrológico

Neste trabalho, para calcular o estresse hidrológico do reservatório foram utilizadas as vazões naturais obtidas no relatório parcial da IBI Engenharia (RP04, 2013) em parceria com ANA. Segundo o relatório da IBI Engenharia, as vazões foram estimadas através do modelo SMAP de chuva x vazão.

A série histórica utilizada para o cálculo do estresse dos reservatórios foi de 2000-2009, tendo sido escolhido esse período por caracterizar uma situação de referência a partir da qual pode ser feita inferências. Seguindo essa linha, essa serie foi dividida em dois períodos 2000 – 2004, onde o ano de 2001 foi considerado como o prolongamento da seca de 98/99, e 2005 – 2009 em que os anos de 2008 – 2009 foi considerado como um dos períodos de maior cheia da região.

Para uma melhor análise da “saúde hídrica” dos reservatórios com relação aos usos, o estresse hidrológico foi calculado separadamente para finalidade (abastecimento Humano, dessedentação animal e agricultura). A demanda para cada um dos usos foi obtida no relatório do IBI Engenharia (RP 04).

O estresse hidrológico é obtido através da interação dos parâmetros de razão uso dos recursos hídricos com a vulnerabilidade as mudanças climáticas.

A razão de uso dos recursos hídricos é considerada como sendo a razão entre a demanda e a vazão na extração. Nesse estudo foi considerado a demanda total de cada uso e a vazão média de longo período da série histórica estudada.

A vulnerabilidade a mudança climática é obtida através do cálculo e da interação de dois sub – parâmetros, que são eles:

- Variabilidade da série histórica de vazões;
- Não - estacionariedade da série histórica de vazões.

A variabilidade da series histórica de vazões é obtida através da equação 5.

$$CV = \frac{\theta}{x} \quad \text{Equação 5}$$

Onde CV é o coeficiente de variação, θ é o desvio padrão das vazões da série histórica e x é a média das vazões da série histórica. A partir do valor encontrado define-se dessa forma o nível de variabilidade conforme a tabela 6.

Tabela 6: Variabilidade da série histórica de vazões.

Variabilidade	CV
Baixo	<15%
Médio	15%<CV<30%
Alto	>30%

Fonte: Galvão (2008).

O teste de não-estacionariedade de séries de vazões é dado pela equação 6, derivada de Salas (1993):

$$tc = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{1-\alpha/2, v} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

tc= valor de t.

$t_{1-\alpha/2, v}$ = t de Student a 99% de confiança.

r= coeficiente de correlação entre q(i) e o número de anos estudados (i).

N= número de anos da série.

v= N-2 graus de liberdade.

O resultado obtido é analisado de acordo com a tabela 7.

Tabela 7: Não – estacionariedade da série histórica de vazões.

NÃO – ESTACIONARIEDADE	
Baixo	$T_c < 0,9t$
Médio	$0,9t \leq T_c \leq 1,1t$
Alto	$T_c \geq 1,1t$

Fonte: Galvão (2008).

A partir desses dois sub – parâmetros é possível obter a vulnerabilidade as mudanças climáticas através da interação dos mesmos. Essa interação é feita através do produto de cada índice, no qual foram atribuídos 1 para baixo, 2 para médio, 3 para alto, conforme a tabela 8. Esse índice é utilizado para os dois sub – parâmetros.

Tabela 8: Interação dos sub – parâmetros.

Variabilidade	Não – estacionariedade		
	Baixo	Médio	Alto
Baixo	1	2	3
Médio	2	4	6
Alto	3	6	9

Fonte: Galvão (2008).

. A partir desse produto obtemos a tabela 9.

Tabela 9: Indicador da vulnerabilidade as mudanças climáticas.

Vulnerabilidade a mudanças climáticas	Valores
Baixo	1-2
Médio	3-6
Alto	6-9

Fonte: Galvão (2008).

De acordo com Galvão (2008), a interação dos parâmetros de vulnerabilidade as mudanças climáticas e Razão de uso dos recursos hídricos possibilita o cálculo final para o estresse hidrológico (Tabela 11).

Tabela 10: Interação entre a vulnerabilidade e razão de uso.

Vulnerabilidade a mudanças climáticas.	Razão de uso dos recursos hídricos.			
		Baixo	Médio	Alto
	Baixo	1	2	3
	Médio	2	4	6
	Alto	3	6	9

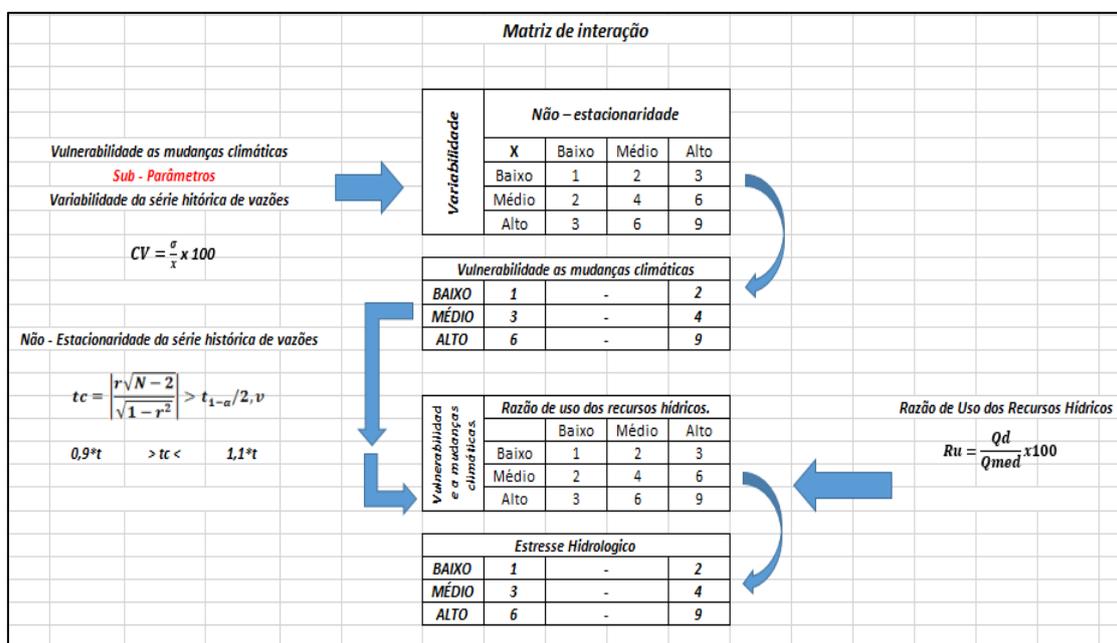
Tabela 11: Índice de estresse hidrológico.

Estresse Hídrico	Valores
Baixo	1-2
Médio	3-6
Alto	6-9

Fonte: Galvão (2008).

Esse procedimento (fluxograma 1) foi feito para os 3 usos separadamente: Abastecimento Humano, Dessedentação animal e Agricultura.

Fluxograma 1: Matriz de interação entre os parâmetros e sub – parâmetros do estresse hídrico.



Fonte: Autoria Própria.

3.4.4. Porcentagem de famílias atendidas por poços

Em períodos de estiagem, a utilização das águas subterrâneas é uma das estratégias mais utilizadas pela população do semiárido nordestino. A porcentagem do número de famílias atendidas por poços é um dos principais indicadores de capacidade adaptativa de uma região.

A porcentagem de famílias atendidas por poços no presente trabalho foi calculada através da razão entre o número de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poços na propriedade (v013) multiplicado por 100 pelo número de domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (v001), de cada município (Equação 7).

$$Poços/Fam (\%) = \frac{Qtd\ Poços\ Munic.}{Qtd\ de\ Famílias} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Os dados necessários para realizar esse procedimento foram retirados do sistema disponível do IBGE no arquivo básico (planilha excel básico_UF –

V001) e no arquivo domicílio (planilha excel domicílios 01 – V013) do censo demográfico 2010.

3.4.5. Porcentagem de famílias atendidas por cisternas

A convivência com o Semiárido pressupõe a adoção da cultura do estoque. Estoque de água para diversos usos - consumo humano, produção de alimentos e para servir aos animais.

Através do armazenamento da água da chuva em cisternas construídas com placas de cimento ao lado de cada casa, as famílias que vivem na zona rural dos municípios do Semiárido passam a ter água potável a alguns passos.

A porcentagem de famílias atendidas por cisternas foi obtida através da razão entre o número de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de Cisterna (v014) e o número de domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (v001), de cada município provenientes do censo agropecuário 2006 (Equação 8).

$$Cisternas/Fam (\%) = \frac{Qtd\ Cisternas\ Munic.}{Qtd\ de\ Famílias} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

3.4.6. Porcentagem dos estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada.

A base de dados utilizados nesse indicador foi obtida no site do IBGE, especificamente no SIDRA, para o Censo agropecuário do ano de 2006, utilizando as tabelas 765 e 855, sendo elas respectivamente, número de estabelecimentos agropecuários e número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação. O cálculo foi efetuado a partir da equação 9.

$$Agric. Irrig. (\%) = \frac{Agric. irrig.}{Total\ de\ estab.} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Em que **Agric.Irrig.(%)** corresponde a porcentagem de estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada no município, **Agric.irrig.** equivale ao número de estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura

irrigada no município e **Total de estab** é o número de estabelecimentos agropecuários no município.

3.5. Normalização dos indicadores.

Para facilitar a manipulação e estruturação do banco de dados, foi feita uma normalização para cada indicador de vulnerabilidade, utilizando a equação 10 para indicadores com relação positiva e a equação 11 para indicadores com relação negativa, uma vez que cada indicador possui diferentes padrões de valores.

$$(+)\ I = \frac{(M-x)}{(M-m)} \quad \text{Equação 10}$$

$$(-)\ I = \frac{(M-x)}{(M-m)} \quad \text{Equação 11}$$

Onde;

I = Índice

M = maior valor

X = valor

M = menor valor

Na tabela 12 encontra - se os indicadores classificados conforme sua situação (positivos e negativos). Essa classificação foi feita através da relação positiva ou negativa que as variáveis apresentavam com relação ao sistema.

O índice de anomalia de chuva obteve relação positiva pois quanto maior a quantidade de chuvas melhor seria a situação para os reservatórios. A mesmo procedimento para o índice de aridez, quanto maior o índice de aridez mais úmida será a região de acordo com a escala de Costa e Brito (2004).

O estresse hídrico teve relação negativa pois quanto maiores forem seus valores, pior será a situação para o sistema. Para o número de poços e cisternas, a relação positiva foi atribuída pois quanto mais poços e cisternas os

municípios possuírem melhor é a situação para os reservatórios, pois menos água é retirado do mesmo.

Tabela 12: Classificação dos indicadores em positivo ou negativos.

	VARIÁVEIS	SITUAÇÃO
EXPOSIÇÃO	INDICE DE ANOMALIA DE CHUVA	+
	INDICE DE ARIDEZ	+
SENSIBILIDADE	ESTRESSE HIDROLÓGICO NO ABASTECIMENTO HUMANO	-
	ESTRESSE HIDROLÓGICO NA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	-
	ESTRESSE HIDRÓLOGICO NA AGRICULTURA	-
CAPACIDADE ADAPTATIVA	% DE FAMÍLIAS ATENDIDAS POR POÇOS	+
	% DE FAMÍLIAS ATENDIDAS POR CISTERNAS	+
	% DOS ESTABELECIMENTOS AGROPECUARIOS QUE UTILIZAM AGRICULTURA IRRIGADA	-

Fonte: Adaptado Galvão (2008) e Rosendo (2014).

Buscando saber a dimensão de cada indicador, através das equações 12; 13 e 14, calculou-se o índice de dimensão para os três fatores da vulnerabilidade (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa) para cada município. A partir dessas três equações também se calculou o índice de vulnerabilidade final (equação 15).

$$I_e = \frac{IAC+IA}{2} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

le = Índice de exposição;

IAC = Índice de Anomalia de Chuva;

IA = Índice de Aridez.

$$I_s = \frac{IE_{Abast.Hum} + IE_{Dessed.} + IE_{Agric.}}{3} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

Is = Índice de sensibilidade;

IE_{abast.hum} = Índice de estresse hidrológico para abastecimento humano;

IE_{dessed} = Índice de estresse hidrológico para dessedentação animal;

IE_{agric} = Índice de estresse hidrológico para agricultura.

$$I_{ca} = \frac{I_{fp} + I_{fc} + I_{fai}}{3} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

I_{ca} = Índice de capacidade adaptativa;

I_{fp} = Índice de famílias com poços;

I_{fc} = Índice de famílias com cisternas;

I_{fai} = Índice de famílias com agricultura irrigada.

3.6. Espacialização dos dados.

Após calculado todos os índices que abrangem fatores de vulnerabilidade descritos no item 3.5, foi realizado o cálculo o índice de vulnerabilidade geral de cada reservatório a partir da equação 15.

$$I_{vs} = \frac{I_e + I_s + I_{ca}}{3} \quad \text{Equação 15}$$

Esses dados foram tabulados no software Microsoft Excel e inseridos e espacializados no software Qgis 2.14.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do índice de exposição dos reservatórios.

As chuvas no sertão Paraibano se concentram entre os meses de fevereiro a maio, porém, devido as variações interanuais e aos eventos extremos mais intensos, o índice pluviométrico em alguns períodos é abaixo da média.

Do período de 2004 a 2015 a região do Médio Piranhas e do Vale do Piancó vem lidando com a escassez hídrica. Após a cheia de 2009, proveniente de uma La Niña, essa região passa por uma seca severa, conhecida como uma das piores dos últimos 50 anos. Através do índice de anomalia a chuva é possível observar que dentre esse período o ano de 2012 foi o que mostrou menor pluviosidade, decorrente a um forte El Niño.

Pôr as chuvas não serem distribuídas uniformemente na região de clima semiárido, alguns municípios são mais secos do que outros, estando assim mais expostos a escassez hídrica, como pode ser observado nas figuras 1 e 2.

Fazendo uma análise comparativa entre os dois anos (2004 e 2009) é possível observar que durante o ano de 2009 os territórios estavam mais expostos do que o ano de 2004, devido este ano ter apresentado uma maior anomalia pluviométrica, uma vez que neste período a concentração de chuvas foi acima da média para as regiões.

Figura 4: Mapa de exposição dos reservatórios de cada município - 2004.

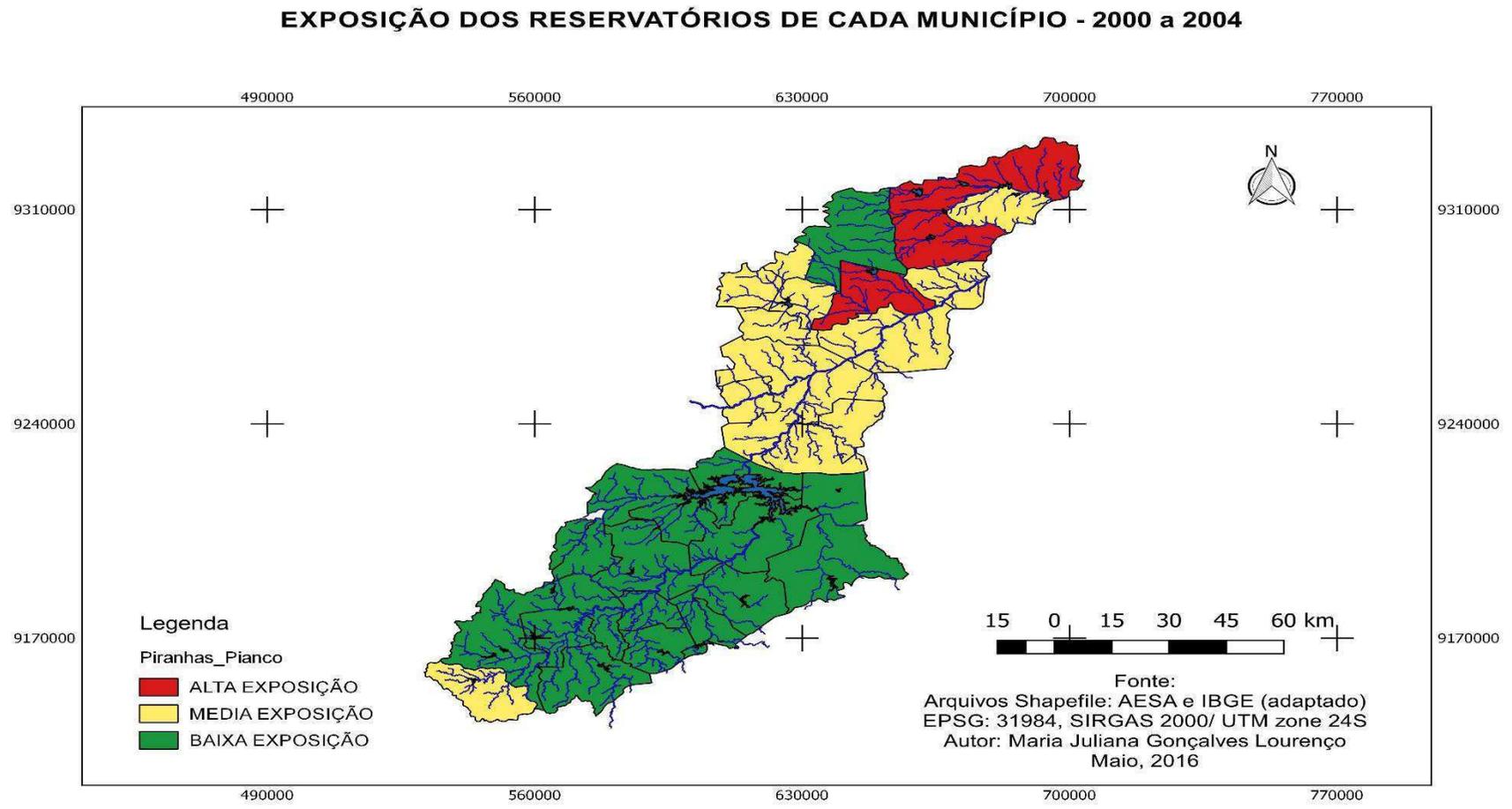
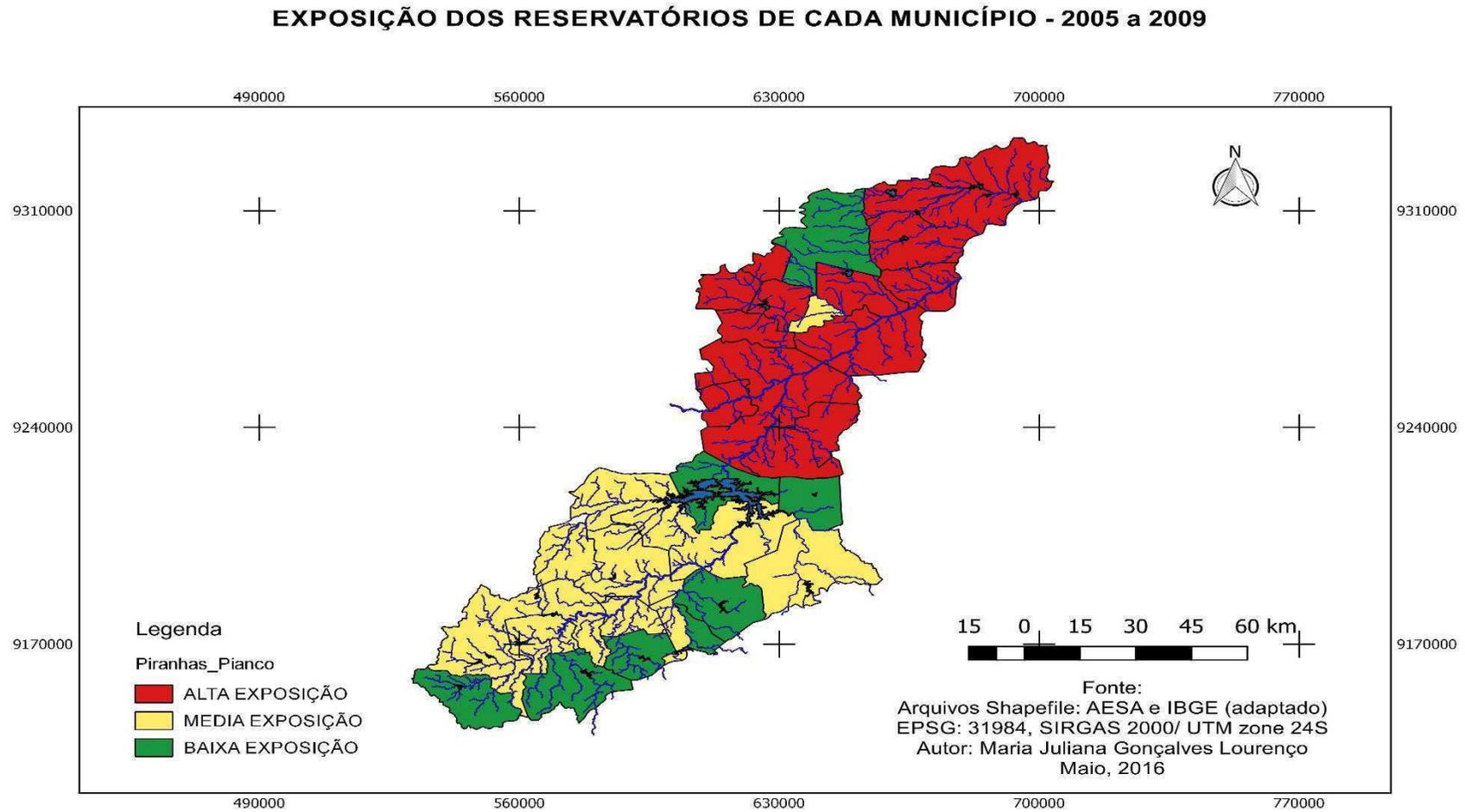


Figura 5: Mapa de exposição dos reservatórios de cada município - 2009.



4.2. Análise do índice de sensibilidade dos reservatórios.

Os reservatórios que abastecem os territórios do Médio Piranhas e do Vale do Piancó são utilizados para diversas atividades, sendo os principais usos abastecimento humano, agricultura e dessedentação animal. Dentre esses usos, o que tem maior consumo é a agricultura.

As águas utilizadas para abastecimento humano, não tem uma razão de uso significativa sobre os açudes, com exceção de Serra Vermelha, que abastece o município de Conceição, que apresentou uma alta razão de uso durante o período de 2000 a 2009.

Quando referido a dessedentação animal, a razão de uso para todos os reservatórios é baixa, em compensação a agricultura tem uma razão de uso alta, principalmente nos municípios de Itaporanga e São José do Brejo do Cruz.

A irrigação é a atividade que mais causa o estresse hídrico dos reservatórios no Médio Piranhas e do Vale do Piancó. Em períodos de estiagem esse uso é suspenso, porém, apesar de ser interrompido o volume dos reservatórios permanecem a reduzir significativamente, como ocorreu durante o ano de 2015 (Gráfico 1 e 2). Isso ocorre devido essa região ter um nível e evapotranspiração muito alto.

Gráfico 1: Volume dos reservatórios durante o mês de março.

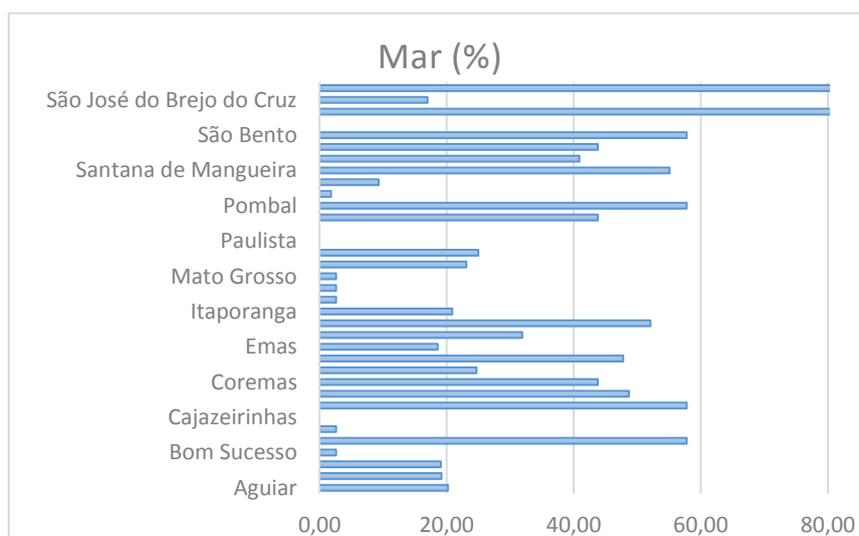
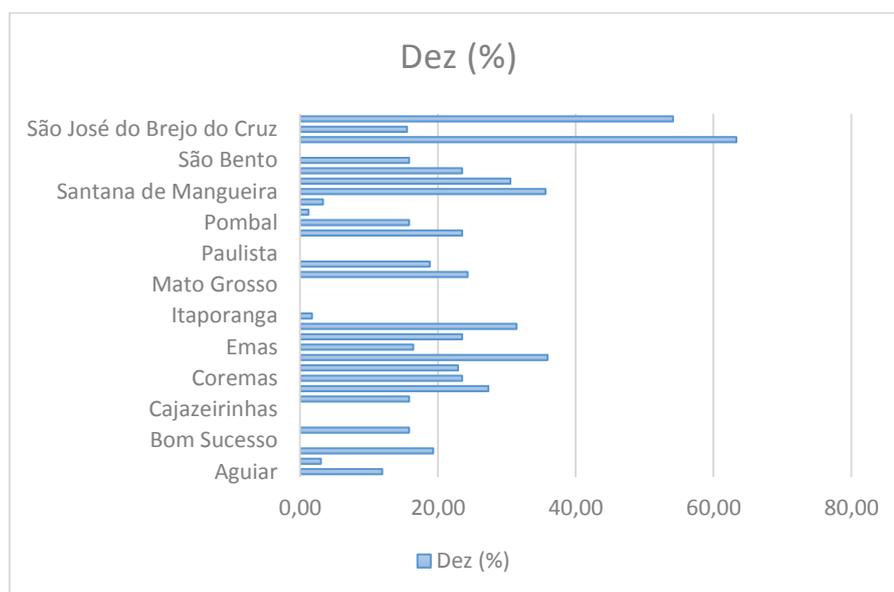


Gráfico 2: Volume dos reservatórios durante o mês de dezembro.



Além do uso, outro fator que condiciona a um possível estresse hídrico é a vulnerabilidade que esses territórios possuem as mudanças climáticas. Os açudes Baião, Jenipapeiro e Saco são os que naquele período se encontravam mais vulneráveis.

Esses dois parâmetros permitem que se possa identificar as áreas que sofreram estresse hídrico de acordo com cada uso e conseqüentemente que apresentam maior sensibilidade ao sistema, conforme pode-se analisar na figura 3 e 4. Alguns dos municípios não possuem dados disponíveis ou são abastecidos por poços, estando eles caracterizados pela cor branca.

Verificou-se a partir da análise das figuras que durante os anos de 2000 a 2004 grande parte dos territórios encontravam-se altamente sensíveis devido à baixa quantidade de chuvas durante esse período. Em contrapartida entre 2005 a 2009 os territórios apresentavam - se com uma sensibilidade menor, uma vez que esse período ocorreu uma maior quantidade de chuvas.

Figura 6: Mapa da sensibilidade dos reservatórios – 2000 a 2004

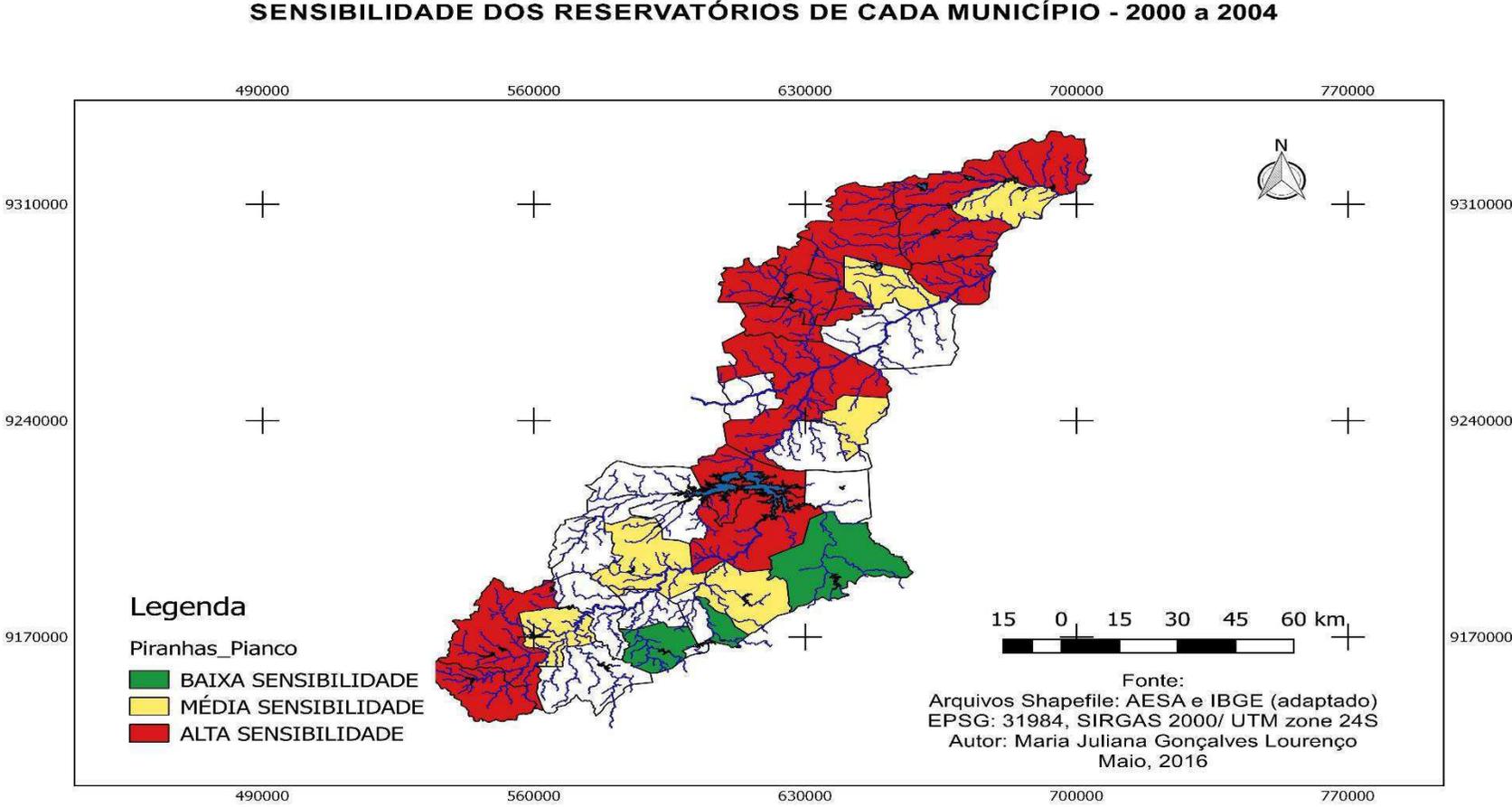
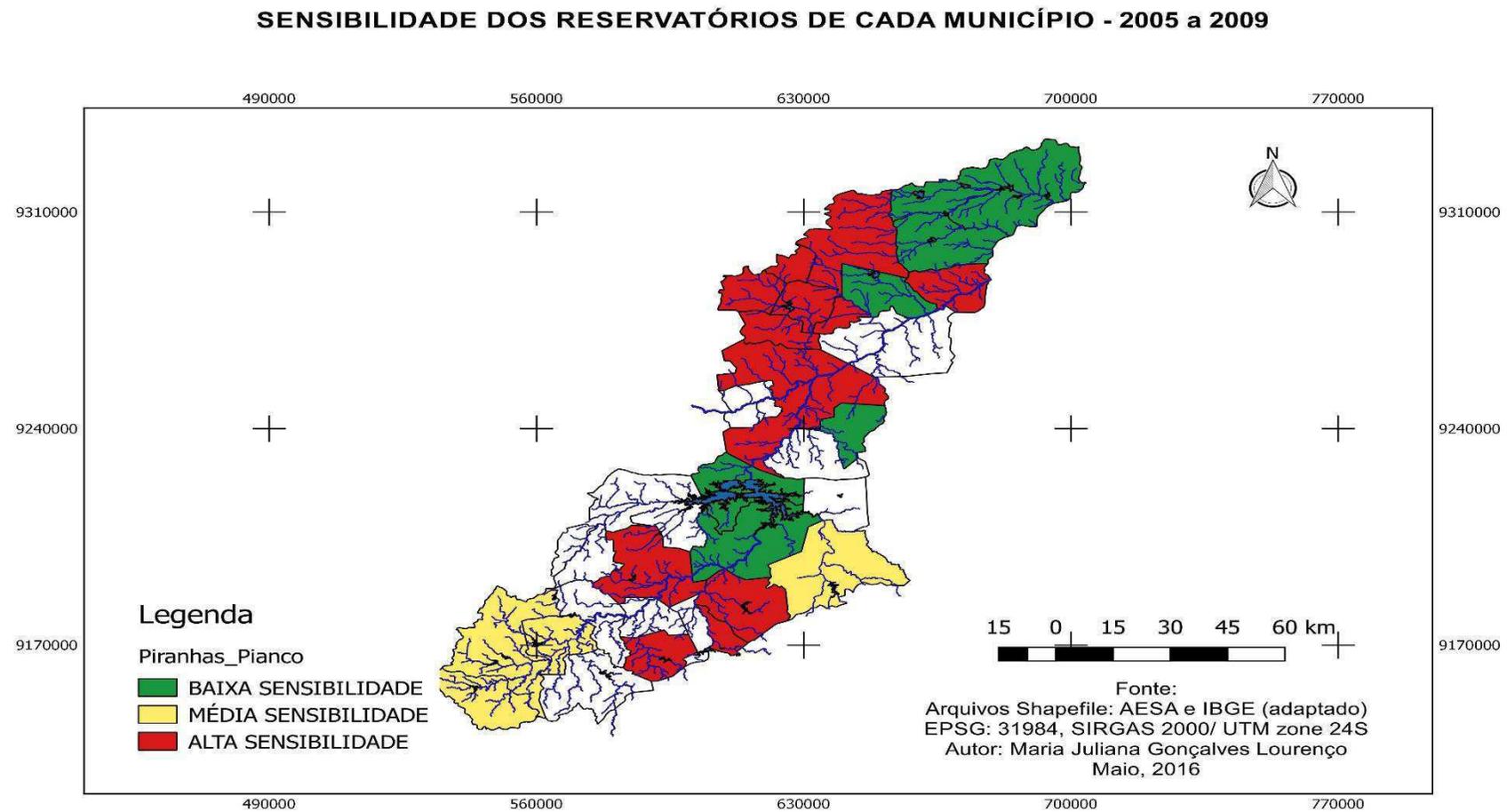


Figura 7: Mapa da sensibilidade dos reservatórios – 2005 a 2009.



4.3. Análise da capacidade adaptativa dos reservatórios

Uma das estratégias mais utilizadas pelas populações que sofrem com o estresse hídrico é a utilização de águas subterrâneas e de cisternas. Entretanto essas táticas ainda não são suficientes para que os territórios apresentassem uma alta capacidade adaptativa (Figura 4).

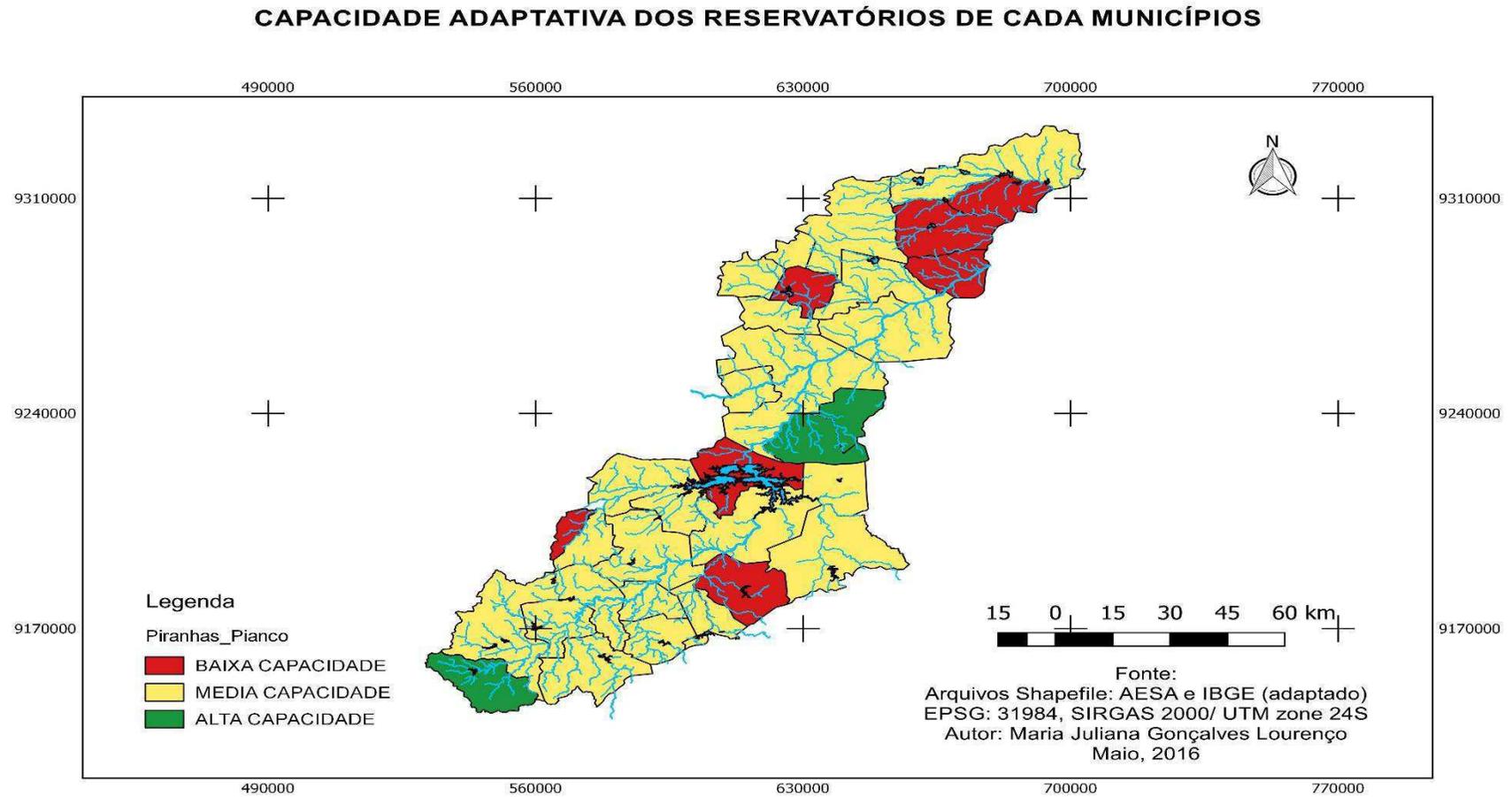
Cajazeirinhas, São Bentinho e Santa Inês são os municípios que apresentam maior capacidade adaptativa dentre os dois territórios. Já São Bento, São José do Brejo do Cruz, Brejo do Cruz, Jericó, Coremas, Santana dos Garrotes e Serra Grande são os municípios que apresentaram menor capacidade adaptativa.

No geral, os territórios apresentam uma capacidade adaptativa mediana para enfrentar os eventos extremos da seca. É necessário buscar estratégias de adaptação, principalmente para os pequenos agricultores que, por serem dependentes da produção agrícola e dos recursos naturais para a subsistência, sofrerão os impactos adversos das alterações climáticas.

Atualmente alguns programas governamentais foram ou estão sendo executados com a finalidade de reduzir os impactos da seca principalmente nas áreas rurais.

Decorrente a escassez hídrica, o número de poços perfurados nesses territórios praticamente dobrou a fim de minimizar os efeitos desse evento sobre a população.

Figura 8: Mapa da capacidade adaptativa dos reservatórios.



4.4. Análise geral da vulnerabilidade.

A partir dos 3 fatores acima (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa) pode-se analisar o grau de vulnerabilidade que cada reservatório estava submetido entre os períodos de 2000 a 2004 e 2005 a 2009 (Figura 6 e 7).

Durante os anos de 2000 a 2004 os reservatórios que abastecem os territórios rurais do Médio Piranhas e do Vale do Piancó estavam mais vulneráveis a seca, uma vez que seus índices pluviométricos foram menores que os anos seguintes, isso devido a um El Niño que teve início no período de 98/99, tendo sido ainda o ano de 2001 considerado como uma continuação desse fenômeno.

Nos anos de 2005 a 2009, por terem ocorrido maiores quantidades de chuvas, provenientes de uma La Niña no período de 2008 a 2009, o grau de vulnerabilidade de grande parte desses territórios foi mediano. Os únicos municípios que se mostraram com um grau alto de vulnerabilidade foram os municípios de Santa Inês e Mato Grosso.

Figura 9: Mapa da vulnerabilidade dos reservatórios 2000 – 2004.

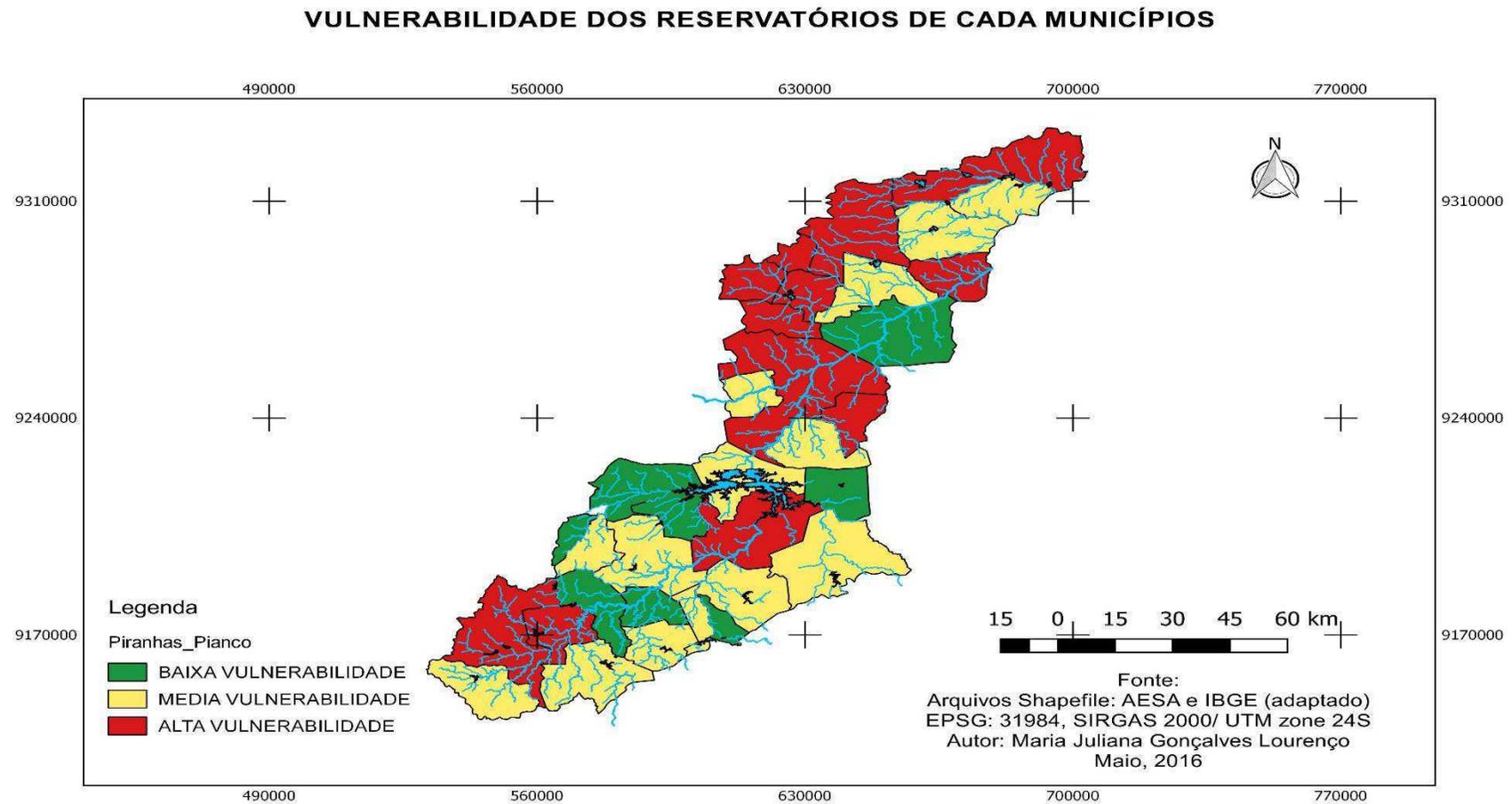
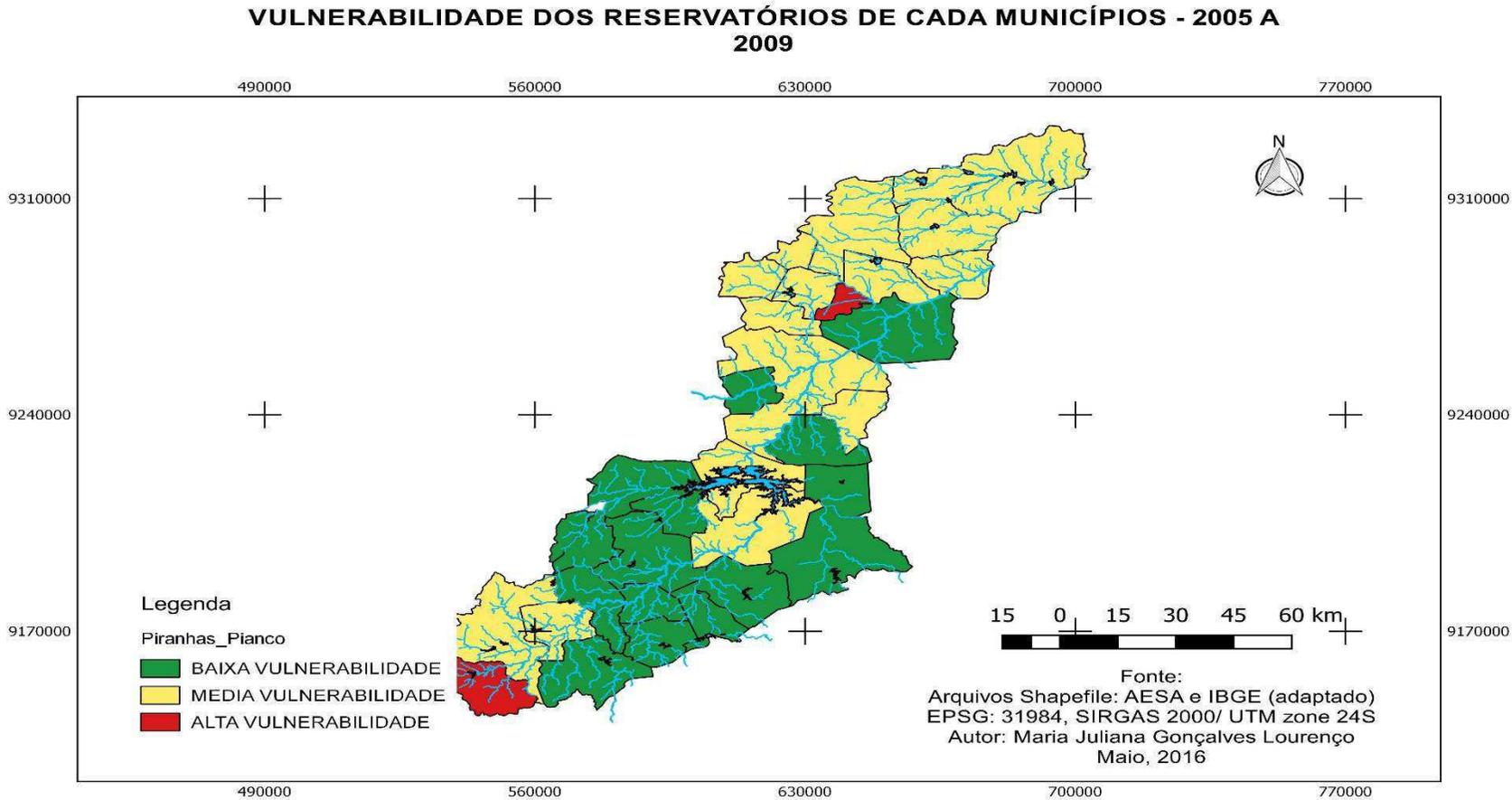


Figura 10: Mapa da vulnerabilidade dos reservatórios 2005 – 2009.



5. CONCLUSÃO

Apesar de haver empenho em gerenciar os recursos hídricos, é necessário avaliar o nível de comprometimento de cada reservatório, através de indicadores que mostrem a situação de cada um deles, permitindo que se tenha uma gestão que limite a utilização dos cursos de água em função da disponibilidade versus a demanda por este recurso.

A metodologia apresentada é concretizável, alcançando o objetivo para que foi criada. Este trabalho teve como principal objetivo o mapeamento das áreas do Médio Piranhas e do Vale do Piancó que estão vulneráveis a eventos extremos da seca e consequente estresse hidrológico. Estas regiões estão propícias a grandes períodos de escassez hídrica.

A operação adequada dos reservatórios existentes nestas regiões pode ser considerada uma das formas mais eficazes de manter a sustentabilidade hídrica destes sistemas, de forma a mitigar os prejuízos resultantes das secas.

O planejamento das situações de seca deve basear-se na prevenção, mitigação e gestão dos riscos de seca e não apenas na gestão de situações de crise. Por esta razão, e pôr eventos extremos cada vez mais intensos, é viável investir num maior planejamento para minimização dos riscos de seca.

Através da metodologia proposta por Galvão (2008) e Rosendo (2014) foi possível obter o nível de vulnerabilidade que os reservatórios estavam sujeitos. O mapeamento das áreas de estudo possibilitou inferir quais os municípios necessitam de uma melhor gestão, auxiliando na operação desses reservatórios, de maneira que estes não sofram estresse e que as demandas para usos prioritários sejam atendidas adequadamente.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento na gestão dos recursos hídricos possibilita uma visão mais ampla de como grandes áreas estão se comportando em relação às variações interanuais, proporcionando que até pessoas com pouco informação sobre o assunto possam entender a real situação da região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Agência Nacional das águas.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>.

ADGER, W. N. **Vulnerability.** Global Environmental Change v. 16, p. 268–281, 2006.

BRANDT, S.; VOGEL, R. M.; ARCHFIELD, S. **Indicators of Hydrologic Stress in Massachusetts.** World Environmental and Water Resources Congress 2008, n. 1999, p. 1–9, 2008.

CAMPOS, R. DE. **Stress hídrico no perímetro urbano em municípios da região sudoeste do Paraná.** p. 75–96, 2010.

CAMPOS, N. B. **Vulnerabilidades Hidrológicas Do Semi-Árido Às Secas.** 1877.

COSTA, D. C; BRITO, J. I. B. **Contribuição do DCA/UFCG ao plano nacional de controle da desertificação.** 2004.

CUNICO, C.; OKA-FIORI, C. **O estado de normalidade e o estado de exceção diante da importância das categorias de “vulnerabilidade”, “risco” e “resiliência”.** p. 1–20, 2014.

DURÃES, M. F. **Desenvolvimento Do Índice De Perturbação Hidrossedimentológica: Aplicação Nas Bacias Hidrográficas Dos Rios Paraopeba E Sapucaí ,** Lavras – Mg. 2013.

DURÃES, M. F. **Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo**

hidrológico distribuído. p. 147, 2010.

EMBRAPA. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação.** p. 52, 2007.

FALLIS, A. **Governança na gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica piranhas-açu: uma investigação jurídica, institucional e ambiental.** Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

FERMINO, L. T. Capítulo de Livro: **BECK, Ulrich. Sociedade de Risco: Rumo a uma outra modernidade.** São Paulo: Editora 34, 2011. 383 p. **Revista do Direito Público**, v. 8, n. 1, p. 215, 2013.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE et al. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental.** Documentos Embrapa, n. 127, p. 1–46, 2010.

GALVÃO, D. M. de O. **Subsídios a determinação de vazões ambientais em cursos de água não regulados: o caso do ribeirão pipiripau (df/go).** **Dissertação de mestrado em ciências florestais.** Publicação ppgefl.dm-096/08. Departamento de engenharia florestal, universidade de brasilíia. Brasília, df. 219p.

GUIVANT, Julia S. **A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre o diagnóstico e a profecia,** Estudos Sociedade e Agricultura, n. 16, p. 95–112, 2001.

IBGE. **Atlas do nacional do Brasil Milton Santos.** Cap. 4. p. 98 a 112. Rio de Janeiro. 2010.

INSA. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas. p. 282. Campina Grande. 2011.

MARANDORA JR, E. M.; HOGAN, D. **Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia.** Revista Brasileira de Estudos, v. 22, n. 1, p. 29–53, 2005.

MATTE, A. **Vulnerabilidade social e a construção de estratégias de enfrentamento e adaptação para pecuaristas de corte no Rio Grande do Sul** Social Vulnerability and the Elaboration of Coping and Adaptation Strategies for Beef Cattle Farmers in Rio Grande do Sul. p. 107–125, [s.d.].

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade.** Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. p. 201. Brasília/DF. 2006.

NERIS, F. L. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2011.

OLIVEIRA, F. F. G. DE. **Aplicação Das Técnicas De Geoprocessamento Na Análise Dos Impactos Ambientais E Na Determinação Da Vulnerabilidade Ambiental No Litoral Sul Do Rio.** p. 441–458, 2011.

PONTES, P. M. A. G. **Geoprocessamento.** 2002.

PBMC, 2014: **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

QUEIROZ, M. A. **Caracterização e avaliação do estresse Hidrológico da bacia do rio paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo**

hidrológico distribuído. Universidade federal de minas gerais. Belo Horizonte - MG, 2013.

ROSENDO, E. E. Q. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira.** Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa - PB, 2014.

SILVA, E. J. DA; LIMA, M. DA G.; MARZIALE, M. H. P. **O conceito de risco e os seus efeitos simbólicos nos acidentes com instrumentos perfurocortantes.**

SILVA, J. X. DA. **O que é Geoprocessamento : Conceito não pode ser confundido com todo o conjunto das geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto, a cartografia e os Sistemas de Posicionamento Global (GPS).** Revista do Crea-RJ, p. 42–44, 2009.

TUCCI, C. E. . **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos.** Câmara Temática sobre Recursos Hídricos, p. 150, 2002.

TUCCI, C.E.M. E BRAGA, B. (2003). **“Clima e recursos hídricos”.** In: Tucci, C.E.M. e Braga, B. (orgs). Clima e recursos hídricos no Brasil. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 1-22.

TUCCI, C.E.M. E MENDES, C.A. (2006). **Avaliação ambiental integrada da Bacia Hidrográfica.** MMA/SQA, Brasília, DF, 300p.

VERDUM, R.; FISCH, G. **O índice de anomalia de chuva (iac) na avaliação das precipitações anuais em alegrete/rs (1928-2009).** p. 73–84, 2014.