



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE NA
ÁREA DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI
(PIAUÍ)**

Recife

2018

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE NA ÁREA DO
BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI (PIAUÍ)**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito complementar para a obtenção do grau de doutor em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Coorientadora: Prof^a. Dra. Maria Lúcia Brito Cruz (UECE)

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio José Sobral da Cunha (UC)

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

O48a Oliveira, Livânia Norberta de.
Análise da capacidade de resiliência do ambiente na área do baixo curso da
bacia hidrográfica do Rio Poti (Piauí) / LivâniaNorberta de Oliveira. – 2018.
131f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Lúcia B. Cruz.

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio José Sobral da Cunha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.

Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2018.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Geografia ambiental. 3. Bacias hidrográficas - Piauí. 4. Impacto ambiental. 5. Resiliência (Ecologia). I. Pereira, Eugênia Cristina Gonçalves (Orientadora). II. Cruz, Maria Lúcia B. (Coorientadora). III. Cunha, Lúcio José Sobral da (Coorientador). IV. Título.

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-041)

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE NA ÁREA DO
BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI (PIAUÍ)**

LIVÂNIA NORBERTA DE OLIVEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de doutor em Geografia.

Orientadora: Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Coorientadora: Dra. Maria Lúcia B. Cruz (UECE)

Coorientador: Dr. Lúcio José Sobral da Cunha (UC)

Tese defendida e aprovada em 06/12/2017

BANCA EXAMINADORA

Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira (Orientadora- Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Iracilde Maria Moura Fé Lima (Examinador Externo)
Universidade Federal do Piauí

Dra. Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni (Examinador Externo)
Universidade Federal do Mato Grosso

Dr. Rodrigo Dutra Gomes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Talitha Lucena de Vasconcelos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha mãe, Raimunda Norberta de Oliveira, e ao meu pai,
José Norberto de Oliveira (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A Deus, que até aqui me ajudou e fortaleceu.

À minha mãe e irmãs, que sempre me motivaram a dar passos mais longe, embora houvesse distância. De forma especial ao casal de amigos Jorge Abreu Paula e Luzineide Gomes, pelo incentivo e ajuda no projeto de doutorado.

Aos meus orientadores: Eugênia Cristina Gonçalves Pereira, pelo incentivo, motivação e dedicação; Maria Lucia Brito Cruz, pela ajuda com a pesquisa e disponibilidade do LABGEO através do apoio do Niveo Rocha e Ícaro Breno da Silva com o geoprocessamento da tese; e Lúcio José Sobral da Cunha, pela receptividade e atenção dedicada em Coimbra, pelas contribuições e ajuda para o aperfeiçoamento da metodologia da tese, e ao Bruno Zucheratto pela ajuda e atenção em Coimbra.

À FACEPE pela concessão da bolsa de doutorado para o desenvolvimento da pesquisa e à CAPES pela bolsa do doutorado sanduíche desenvolvida na Universidade de Coimbra em Portugal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial ao secretário Eduardo Veras, que sempre se fez presente nos momentos de dúvida, ao corpo docente que ajudou no meu desempenho acadêmico.

À minha turma de doutoramento, pela convivência e auxílio durante o tempo acadêmico, em especial à Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes, pela ajuda e companhia desde o mestrado a alcançar êxito na vida acadêmica.

Ao Wanderson Lino e Luiza da Silva Sousa por ter me acompanhado nas expedições para as visitas de campo da área de pesquisa.

Aos Amigos e familiares que me incentivaram e ajudaram a alcançar meus objetivos profissionais.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

“Contudo, não importa o grau em que chegamos, o importante é prosseguir decididamente”

(Filipenses 3,16)

RESUMO

O impacto das ações humanas sobre o ambiente gera diferentes respostas em função de seus atributos físicos e biológicos. Neste sentido, a determinação da capacidade de resiliência constitui importante ferramenta para a conservação e preservação ambiental. Nesta pesquisa objetivou-se avaliar a capacidade de resiliência do ambiente no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, a partir da análise de indicativos naturais que se inter-relacionam e são importantes na manutenção e sustentabilidade do ambiente: declividade, temperatura e tipos de solo, vegetação e recursos hídricos, associando-os às atividades antrópicas e vulnerabilidade social. Para tal, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a interpretação da área e identificação dos riscos existentes. As imagens foram editadas nos softwares *SPRING 5.2* e *ARCMAP 10.3*. A análise da capacidade de resiliência ambiental foi realizada a partir do desenvolvimento de um índice de resiliência ambiental (IRA) que utilizou-se dos efeitos de dois índices o IRN e IMVS. Constatou-se que o método de determinação da resiliência do ambiente a partir da análise natural e da vulnerabilidade social é relevante para o planejamento e gestão numa bacia hidrográfica, com foco num desenvolvimento sustentável. Verificou-se ainda que na área urbana a capacidade de resiliência ambiental é regressiva por haver maior pressão sobre o ambiente em densidade demográfica e exploração dos recursos naturais, em comparação a área rural (86% do BCRP), que apresenta resiliência ambiental de moderada a progressiva, em função de haver áreas com maior índice de vegetação. A cartografia do índice municipal de vulnerabilidade social reflete as distintas estratégias públicas a serem adotadas pelos gestores. Portanto, constata-se que as técnicas utilizadas foram adequadas à determinação da resiliência em áreas de bacias hidrográficas, através da abordagem sistêmica, integrando o meio físico e os processos antrópicos, e que a resiliência do ambiente é possível, desde que haja um plano de gestão que trate do controle preventivo dos seus recursos naturais, devendo estar associado ao manejo adequado do solo, da vegetação, da água superficial e subterrânea.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Resiliência do ambiente. Vulnerabilidade social. Rio Poti.

ABSTRACT

The human actions impact over the environment spawns different answers according to its physical and biological attributes. For this matter, the assessing of the resilience capacity represents a relevant instrument to environmental conservation and preservation. In this survey, it was aimed to measure environmental resilience capacity in the low stream of the Poti river watershed, from the analysis of natural indicatives that relate themselves and that are relevant in environmental maintenance and sustainability: declivity, temperature and types of soil, vegetation and water resources, getting them involved to anthropic activities and social vulnerability. For such, it was used the Geographic Information System (GIS) to the interpretation of the area and identification of the existing risks. The images were edited in SPRING 5.2 e ARCMAP 10.3 softwares. The analysis of the environmental resilience capacity was carried out from the development of an environmental resilience index (ERI) that used the effects of two rates, the NRI and MSVI. It was found that the method of assessing environmental resilience from the natural analysis and the social vulnerability is relevant to the planning and management in an watershed, focusing in a sustainable development. It was further found that in the urban area the environmental resilience capacity is backward because there was higher pressure over the environment in population density and exploitation of natural resources, compared to rural area (86% of LSPR), that presents environmental resilience for moderate to progressive, according to areas with highest index of vegetation. The cartography of municipal index of social vulnerability reflects different public strategies to be taken by the managers. Therefore, the techniques used were appropriate for resilience determination in watershed areas, through systemic approach, integrating physical environment and anthropic processes, and that the environmental resilience is possible, as long as there is a management plan that address preventive control of natural resources, that must be associated to adequate management of the soil, vegetation, surface and ground water.

Keywords: Watershed. Environmental resilience. Social vulnerability. Poti river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de APP locada a partir da borda da calha do leito regular de um rio.....	41
Figura 2 - Mapa de distribuição das fazendas e tribos indígenas do Piauí no Século XVII.....	43
Figura 3 - Diferença entre a lógica booleana e a <i>fuzzy</i>	55
Figura 4 - Fluxograma esquemático da resiliência ambiental do baixo curso do rio Poti.....	58
Figura 5 - Artesanato feito com argila extraída na margem do rio Poti em Teresina-Piauí	71
Figura 6 - Contato cerrado-babaçu no baixo curso da bacia do Poti.....	79
Figura 7 - Contato cerrado-caatinga em Beneditinos-Piauí.....	80
Figura 8 - Área desmatada na margem do rio Poti em Demerval Lobão- PI para cultivo de milho.....	81
Figura 9 - Vegetação do tipo cerradão no município de Demerval Lobão-Piauí.....	82
Figura 10 - Assoreamento e seca do rio Poti na zona rural de Teresina-PI	83
Figura 11 - Precipitação anual do BCRP-Piauí entre 1980 e 2015.....	84
Figura 12 - Sazonalidade pluviométrica no BCRP-Piauí.....	85
Figura 13 - Sazonalidade da vazão do rio Gameleira em Demerval Lobão-Piauí	85
Figura 14 - Situação de olhos d'água no baixo curso da bacia do Poti-Piauí.....	87
Figura 15 - Foz do rio Sambito no rio Poti em Junho de 2014.....	88
Figura 16 - Foz do rio Berlingas no rio Poti em Junho de 2014 (indicação da seta)..	88
Figura 17 - Manejo de solo argiloso para produção de tijolos e artesanato em Teresina-Piauí.....	98
Figura 18 - Situação do rio Poti em Teresina-Piauí com e sem período de estiagem.....	100
Figura 19 - Cultura de vazante nas margens do rio Poti, no município de Demerval Lobão-Piauí.....	101
Figura 20 - Área urbana de Teresina nas margens do rio Poti em junho 2015	108
Figura 21 - Uso de queimada nas margens do rio Poti em Demerval Lobão para plantio de melancia em julho de 2014.....	109

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização do baixo curso do rio Poti.....	44
Mapa 2 - Localização do baixo curso e drenagem da bacia hidrográfica do rio Poti-Piauí	66
Mapa 3 - Declividade do baixo curso do rio Poti.....	68
Mapa 4 - Pedologia do baixo curso do rio Poti	70
Mapa 5 - Temperatura do solo no baixo curso do rio Poti-Piauí em 1985 e 2015.....	73
Mapa 6 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-1985.....	76
Mapa 7 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-2015.....	77
Mapa 8 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 1985.....	94
Mapa 9 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 2015.....	95
Mapa 10 - Mapa de correlação do IRN entre 1985-2015 do baixo curso do rio Poti-Piauí.....	97
Mapa 11 - IMVS do baixo curso do rio Poti (Piauí-Brasil).....	105
Mapa 12 - Densidade demográfica do BCRP (Piauí-Brasil).....	107
Mapa 13 - Índice de resiliência natural do baixo curso do rio Poti-Piauí.....	110
Mapa 1- Localização do baixo curso e drenagem da bacia hidrográfica do rio Poti-Piauí	70
Mapa 2 - Declividade do baixo curso do rio Poti.....	72
Mapa 3 - Pedologia do baixo curso do rio Poti	74
Mapa 4 - Temperatura do solo no baixo curso do rio Poti-Piauí em 1985 e 2015.....	77
Mapa 5 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-1985.....	80
Mapa 6 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-2015.....	81
Mapa 7 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 1985.....	98
Mapa 8 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 2015.....	99
Mapa 9 - Mapa de correlação do IRN entre 1985-2015 do baixo curso do rio Poti-Piauí.	102
Mapa 10 - IMVS do baixo curso do rio Poti (Piauí-Brasil).....	109
Mapa 11 - Densidade demográfica do BCRP (Piauí-Brasil).....	111
Mapa 12 - Índice de resiliência natural do baixo curso do rio Poti-Piauí.....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala AHP de comparação par a par desenvolvida por Saaty	55
Quadro 2 - Contribuição dos fatores para avaliar a vulnerabilidade social do BCRP.....	63
Quadro 3 - classificação do Índice de Resiliência Ambiental.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alterações dos limites das APP's de cursos d'água segundo a largura do mesmo.....	40
Tabela 2 - Localização das estações pluviométricas no baixo curso do rio Poti.....	54
Tabela 3 - Valor CA com função da ordem Matriz	56
Tabela 4 - Importância relativa das classes de declividade através do método AHP de Saaty	57
Tabela 5 - Importância relativa às classes de temperatura do solo através do método AHP de Saaty	57
Tabela 6 - Importância relativa às classes do NDVI através do método AHP de Saaty.....	57
Tabela 7 - Importância relativa às classes do solo através do método AHP de Saaty.....	57
Tabela 8 - Importância relativa (AHP) das variáveis ambientais utilizadas para avaliar a resiliência natural no BCRP	59
Tabela 9 - Valores de comunalidades obtidas para as variáveis do IMVS.....	62
Tabela 10 - Comparação numérica dos valores do IRN e do IMVS	64
Tabela 11 - Extensão territorial de cada classe do NDVI do BCRP-Piauí.....	78
Tabela 12 - Municípios incluídos na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti	91
Tabela 13 - Fatores retidos e significância explicada para avaliação do IMVS.....	92
Tabela 14 - Área plantada de culturas permanentes e temporária nos anos de 1985 e 2015 por município do BCRP	103
Tabela 15 - Principais cultivos agrícolas no baixo curso do rio Poti-Piauí	112

LISTA DE SIGLAS

ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ACP- análise fatorial das componentes principais
AHP- Análise Hierárquica de Pares
ANA- Agência Nacional das Águas
APP- Área de Proteção Permanente
ASF- Alaska Satellite Facility
BCRP- Baixo Curso do rio Poti
CA- Índice de Coerência Aleatório
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM- Serviço Geológico do Brasil
Dm- Declividade Média;
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA- Estados Unidos da América
FLAASH- *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*
IC- Índice de Coerência
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
i- Importância relativa AHP da variável
IMVS- Índice Municipal de Vulnerabilidade Social
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRA- Índice de resiliência Ambiental
IRN- Índice de Resiliência Natural
KMO- *Kaiser - Meyer - Olkin*
LEGAL- Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico
MMA- Ministério do Meio Ambiente
MODTRAN-Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance
N-Norte
NE-Nordeste
NO- Noroeste
NASA- Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica
NDVI- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.
NIR- faixa do infravermelho

Ped- Pedologia;

RC- Razão de Consistência

S-Sul

SE- Sudeste

SO-Sudoeste

SEMAR - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí

SIARGAS- Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPSS- Statistical Package for the Social Sciences

UTM- Universal Transversa de Mercator

TempS- Temperatura do solo;

VER- vermelho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	A QUESTÃO AMBIENTAL E A GEOGRAFIA	19
2.2	A CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA EM BACIA HIDROGRÁFICA	22
2.2.1	A vulnerabilidade social e a resiliência	27
2.3	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS POR SETORES ESTRATÉGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA	30
2.3.1	Planejamento territorial em bacias hidrográficas	33
2.3.2	Planejamento de uso e conservação ambiental de áreas ribeirinhas	35
3	MÉTODOS, TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS	44
3.1	REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	45
3.2	COMPOSIÇÃO DO MÉTODO	48
3.2.1	Instrumentação técnica e operacional	48
3.3	ETAPAS DO GEOPROCESSAMENTO E MATERIAL CARTOGRÁFICO	49
3.3.1	Produção cartográfica	51
3.3.2	Uso da técnica de <i>fuzzy</i> na avaliação da resiliência do ambiente	54
3.4	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI	65
4.1.1	Aspectos geoambientais	65
4.1.1.1	<i>Solos</i>	69
4.1.1.2	<i>Cobertura vegetal</i>	75
4.1.1.3	<i>Recursos hídricos</i>	83
4.2	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	90
5	ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE NO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAUI	93
5.1	ÍNDICE DE RESILIÊNCIA NATURAL DO AMBIENTE DO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAUI	93
5.2	VULNERABILIDADE SOCIAL NO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAUI	102
5.3	CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA AMBIENTAL PARA O BAIXO CURSO DO RIO POTI (PIAUI-BRASIL)	109
6	CONCLUSÃO	114
	REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos sobre as bacias hidrográficas vêm sendo elaborados ao longo dos anos, tendo como objetivo principal identificar a estruturação da dinâmica dos cursos d'água para a evolução das formas de relevo. Dada a importância deste recorte geográfico não só para o estudo das paisagens como também para gestão do espaço geográfico, optou-se por estudar a capacidade de resiliência da bacia hidrográfica, utilizando como parâmetro o baixo curso do rio Poti (Piauí).

O processo de apropriação dos recursos naturais na bacia hidrográfica do rio Poti tem ocorrido muitas vezes em áreas inadequadas, desrespeitando as características físico-naturais e comprometendo o sistema ambiental existente.

Esse comprometimento, afeta diretamente a resiliência, a qual é definida como a capacidade de um sistema suportar perturbações ambientais, mantendo sua estrutura e padrão geral de comportamento enquanto sua condição de equilíbrio é modificada. Ou seja, a capacidade de um sistema de manter sua integridade no decorrer do tempo, sobretudo em relação às pressões externas (FOLKE, 2006).

Na perspectiva ambiental, a abordagem da resiliência no Brasil e no mundo ainda é muito incipiente, sendo mais empregada no aspecto social. Torna-se, portanto, relevante sua aplicação no aspecto ambiental, tendo em vista a emergência do uso e manejo sustentável dos recursos naturais para a manutenção dos sistemas ambientais e, conseqüentemente, da sociedade. Neste domínio de investigação, a resiliência é definida como a capacidade de um sistema absorver perturbações e se reorganizar em pleno funcionamento. Isto inclui não só a capacidade de um sistema em retornar ao estado existente antes das perturbações, mas também de se adaptar às pressões sofridas (KLEIN *et al.*, 2003; ADGER *et al.*, 2005; FOLKE, 2006; CUTTER *et al.*, 2008).

Nesta pesquisa considera-se que os sistemas ambientais correspondem a sistemas abertos de processo-resposta, ajustados por forças impulsionadoras de ordem natural e antrópica, que mantêm as flutuações na entrada e na saída de matéria e energia, promovendo manutenção e/ou alterações temporais na estrutura do sistema, a partir de transformações nos processos, seguindo ritmos naturais e antrópico, como ocorre em bacias hidrográficas.

As diferentes formas de intervenções, entre essas a antrópica, sobre o sistema ambiental, a partir do avanço das técnicas de apropriação dos elementos naturais, efetivou a imposição de mecanismos externos (não-naturais). Essas regras são capazes de atuar nos

funcionamentos da estrutura e dos processos, por meio da imposição de dispositivos que determinam o fluxo de matéria e energia, regulando as relações dos atributos dos elementos e, conseqüentemente, sua morfologia (TRICART, 1977; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Neste contexto consideramos a bacia hidrográfica do rio Poti, um sistema natural que abrange porções territoriais dos Estados do Ceará e do Piauí, apresentando uma extensão total aproximada de 52.270 km², sendo quase na sua totalidade inserida no Estado do Piauí, com 38.797 km², onde abrange trinta e oito municípios, dos quais onze estão localizados na área do baixo curso, incluindo a capital Teresina. Submetida a diferentes formas de intervenções, teve alterados, de modo significativo, seus diferentes geoambientes. Tal fato leva a possibilidade de ocasionar efeitos negativos aos recursos naturais existentes, para além da ocupação irregular da área e do manejo inadequado desses recursos.

Diante disso, objetivou-se avaliar a capacidade de resiliência do ambiente no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, a partir da análise de indicadores naturais, que se inter-relacionam e são importantes na manutenção e sustentabilidade do ambiente. Dessa forma, foram considerados declividade, temperatura a nível do solo, tipos de solo, vegetação e recursos hídricos, associando-os às atividades antrópicas e à vulnerabilidade social como parâmetros de avaliação. Ao mesmo tempo objetivou-se identificar e mapear os componentes geoambientais (bióticos e abióticos) e os aspectos socioeconômicos na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, com vistas à evolução dos problemas ambientais associados; avaliar as intervenções antrópica sobre os recursos naturais na área do baixo curso do rio Poti e; identificar a capacidade de resiliência da área de estudo e o seu grau de comprometimento, analisando, interpretando, contextualizando e sistematizando os dados e observações de forma integrada, incluindo-se aí as questões vinculadas às dimensões socioespacial e de gestão, como forma de subsidiar ações sustentáveis, na perspectiva geográfica, para fins de planejamento territorial ambiental levando em consideração os aspectos socioambientais.

Utilizou-se para tanto o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a interpretação da área e identificação dos riscos existentes. As imagens foram editadas nos softwares *SPRING 5.2* e *ARCMAP 10.3*. A análise da capacidade de resiliência ambiental foi realizada a partir do desenvolvimento de um Índice de Resiliência Ambiental (IRA) que se serviu dos efeitos de dois índices: o IRN e IMVS.

Assim sendo, buscar-se-á responder as seguintes questões: quais os problemas ambientais existentes na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, em decorrência das intervenções antrópicas? As atividades socioeconômicas desenvolvidas na área do baixo curso do rio Poti comprometem a sustentabilidade dos recursos naturais lá existentes? Qual a

capacidade de resiliência da área diante das atividades desenvolvidas? Que subsídios poderiam ser propostos para minimizar esses problemas (inclusive em termos político-territoriais, socioambientais e socioculturais)?

A partir das questões levantadas supõe-se que a resiliência do ambiente seja possível desde que subsidiada por um planejamento territorial sustentável na área, além de ações que visem a compatibilização da utilização dos recursos da natureza com a preservação do meio físico-biótico. Dessa forma, torna-se possível promover a qualidade de vida das populações e a manutenção da resiliência do ambiente.

Assim sendo, constatou-se que as análises e observações das informações e dados levantados nesta pesquisa nos permitem compreender de forma integrada a relação entre os ambientes físico e antrópico, desenvolvidos a partir do IRN e do IMVS, que demonstraram ser eficazes no diagnóstico e aplicação de medidas preventivas na manutenção sustentável do ambiente, no recorte geográfico de uma bacia hidrográfica, e que são importantes fatores a se considerar na avaliação da capacidade de resiliência do ambiente e na sua gestão.

Este estudo encontra-se assim estruturado: uma revisão de literatura, onde se apresenta a linha de discussão na Geografia sobre a questão ambiental na sua relação com Geografia, a definição de resiliência no contexto ambiental e sua aplicação no recorte geográfico da bacia hidrográfica em estudo. Apresenta-se também o contexto da classificação dos sistemas ambientais para aplicação do planejamento ambiental em bacias hidrográficas, com destaque para as áreas ribeirinhas.

Em seguida é apresentada a metodologia utilizada na execução desta pesquisa, com a demonstração dos resultados na sequência, divididos em duas partes: a primeira, onde se aborda a caracterização dos aspectos ambientais e socioeconômicos do BCRP; a segunda apresenta os resultados dos índices de resiliência ambiental desenvolvidos a partir do índice de vulnerabilidade social. Os resultados dessa combinação permitiram analisar a capacidade de resiliência ambiental do baixo curso do rio Poti.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A QUESTÃO AMBIENTAL E A GEOGRAFIA

Tradicionalmente a natureza é entendida como algo externo ao ser humano, já que se torna cada vez mais difícil estabelecer o que é puramente natural do que é social, sendo a interpenetração desses elementos a regra cada vez mais comum. Desenvolveu-se assim para o conceito de ambiente, uma noção resultante não somente de uma interface entre os processos naturais e a sociedade, mas também e principalmente, de uma transfiguração proporcionada pelas técnicas que interferem nas formas e processos naturais (SUERTEGARAY, 2000; SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

Segundo Vitte (2011), na Ciência Geográfica o processo de análise da identificação e classificação da paisagem e a cartografia dos fenômenos exigiram esforço de reflexão sobre os estudos empíricos e as filosofias que os sustentam e lhes garantem a complexa relação entre o mundo mecânico e o transcendental, fato que foi construído pela filosofia de Kant e pelas reflexões metodológicas de Goethe, Huxley e Humboldt.

Neste contexto, a abordagem da relação sociedade/natureza recebeu só no fim do século XIX e início do século XX contribuições definidoras na linha do pensamento geográfico. Colaboraram para esta abordagem metodológica, Humboldt e Ratzel, na Alemanha, associado ao Determinismo Geográfico, e Paul Vidal de La Blache, na França, alinhado ao possibilismo. Merecem destaque os estudos de La Blache, que foram divulgados em todo mundo e influenciaram sobremaneira esta perspectiva na Geografia brasileira (AGUIAR, 2010).

Para o Positivismo, a Natureza é estudada exclusivamente pelas Ciências Naturais, enquanto que a Sociedade é estudada pelas Ciências Sociais, não havendo relação entre as duas (SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

Já para o Determinismo, a Natureza é considerada a primeira corrente do pensamento geográfico, tendo desenvolvido uma linha de pensamento pautada no Naturalismo, devido à forte influência que Ratzel, principal proponente e criador dessa escola, teve dos alemães Humboldt e Ritter. Por outro lado, Humboldt naturalista e Ritter filósofo e historiador, ao descreverem as características naturais e as organizações espaciais dos diferentes lugares em que estiveram e pesquisaram, explicavam essas situações através das relações dos seres

humanos com a natureza, concebendo a segunda como principal agente desses processos (MENDONÇA, 1998; SUERTEGARAY, 2001; SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

Em contraposição ao Determinismo nascia na França a corrente Possibilista, cujo principal expoente era Vidal de La Blache. Essa escola defendia que a sociedade criava possibilidades técnicas de uso da natureza, não sendo aquela um elemento passivo nessa relação, como defendia a corrente alemã (SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

Relatam Vicente e Perez Filho (2003) que para Vidal de La Blache a Geografia estudaria o que chama de “fatos essenciais”: simples (ligados às necessidades vitais do ser humano como a alimentação, habitação, etc.); complicados (exploração dos recursos terrestres superficiais como a lavoura ou internos como a mineração); regras do convívio social (campo econômico e social, com destaque para a regulação e o papel do Estado); e os fatos essenciais ligados à cultura (relação homem-meio e formação do *habitat*).

No início do século XX, com o avanço do conhecimento científico baseado mais fortemente no método positivista, as especializações dos saberes se intensificaram. Na Geografia temos, inicialmente, a separação mais clara entre as chamadas partes física e humana. Caberia à Geografia Física, nessa disjunção, o estudo da natureza desvinculada dos elementos socioeconômicos. Dava-se assim continuidade a um processo iniciado no século XIX (CATTANEO, 2005).

Deve-se destacar o esforço de Elisée Reclus, ainda no final do século XIX, mediante uma orientação anarquista, em criar uma Geografia integradora e mesmo ambientalista nesse período. Através da ótica que o homem é a natureza adquirindo consciência de si própria, ele revela, uma concepção da relação homem/natureza diferente dos métodos científicos presentes até então (MENDONÇA, 1998).

Após o final da Segunda Guerra Mundial, a maneira de se conceber e praticar Geografia eram baseados no Positivismo Clássico, caracterizada pelas descrições das paisagens, das regiões e dos territórios, não mais se adequava ao momento tecnológico, político e econômico que passava a predominar a partir desse período. Nessas circunstâncias surge a corrente Teorética, que adota como base metodológica o Neopositivismo, com ampla utilização da linguagem matemática, uso de fotografias aéreas e, mais atualmente, imagens de satélite como instrumentação. O propósito é o uso da Geografia para o planejamento, com a natureza sendo cada vez mais tratada como recurso para o uso preferencialmente imediato (SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

É a partir dessa corrente que a Geografia absorve da Biologia, que por sua vez absorveu da Física, o conceito de Sistema. A partir desse momento a natureza passa a ser

trabalhada através da Teoria Geral dos Sistemas, resgatando-se a relação entre o organismo e o meio, estabelecendo-se, a partir de uma concepção de ordem universal, a possibilidade de se criar modelos para explicar a natureza através do sistema computacional (SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

O advento da questão ambiental traz, entre outras questões, a discussão do esgotamento e, conseqüentemente, da escassez, como também registra uma preocupação unilateral que envolve tanto a natureza como a humanidade. Conduz a discussão dos impactos que ocorrem com a natureza e contra a natureza. Neste contexto, os problemas ambientais colocados como: efeito estufa, camada de ozônio, transgenias, formas de relevo tecnogênicas, chuva ácida, entre tantos outros, indicam que a leitura em separado da natureza e da sociedade não é mais factível. Para tanto, novos conceitos e novos métodos se fazem necessários (SUERTEGARAY, 2002).

A Modernidade tem entre outras características, a valorização do indivíduo e do mercado e a possibilidade de escassez de certos recursos naturais. Leff (2001) discorre que a emergência da problemática ambiental conduz à necessidade de se internalizar o que ele denomina de saber ambiental, inerente não apenas ao que se denomina de conhecimento científico, mas também ao saber popular, e de se construir uma racionalidade ambiental para que realmente seja criado um desenvolvimento sustentável ao mesmo tempo equitativo e duradouro.

Diante disso, acredita-se que no processo de criação de um novo entendimento científico, onde estão incluídas as questões relacionadas a Geografia e a questão ambiental, um encaminhamento metodológico adequado seria a adoção da interdisciplinaridade e da transdisciplinaridade, o que é considerado por alguns uma anarquia epistêmica (CATTANEO, 2005).

Destaca-se que a Geografia como área de conhecimento sempre expressou sua preocupação com a busca da compreensão da relação do homem com o meio. Neste sentido, ela se diferenciou e se contrapôs as demais ciências, que por força de seus objetos e das classificações, foram individualizadas em Ciências Naturais e Sociais. Este paradoxo acompanha a Geografia, ainda que hoje possa ser seu grande privilégio (SUERTEGARAY, 2003).

Monteiro (2000) em seus trabalhos apontava a necessidade da prática interdisciplinar para as questões ambientais, uma vez que esta é multifacetada. O mesmo autor, em 1996, se destaca no Brasil como um dos principais disseminadores e formuladores do conceito geossistêmico, devido ao seu convívio com os russos e franceses. Para ele, o Geossistema visa

a integração das variáveis naturais e antrópicas, podendo se associar aos estudos relacionados com a gestão e análise ambiental em bacias hidrográficas, cartografia ambiental, entre outras.

Neste contexto, são conferidas à Geografia algumas vantagens em relação a outros ramos do conhecimento científico que estudam a questão ambiental, para os quais as inter-relações Sociedade/Natureza são uma experiência nunca antes feita e, por isso, mesmo ainda estão tentando criar todo um caminho metodológico (SOUZA e SUERTEGARAY, 2007).

Diante do exposto, verifica-se que a bacia hidrográfica é o lócus de interação das ações socioeconômicas e culturais com o meio físico e biótico, sendo importante o desenvolvimento de pesquisas neste recorte geográfico, de forma integrada, para fins de planejamento e gestão, na perspectiva da resiliência e sustentabilidade dos seus recursos.

2.2 A CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A apropriação da natureza pelo ser humano devido à urgência da produção econômica em tornar qualquer área explorável e desconsiderando os limites físico-naturais, pode desencadear processos graves de degradação do ambiente, dificultando muitas vezes a capacidade de manter as suas características originais.

A partir dessas premissas enfatiza-se a importância do uso apropriado da terra, no recorte geográfico da bacia hidrográfica, de forma a atender às características físico-naturais do ambiente, com o propósito de minimizar os impactos e possibilitar a capacidade do ambiente se recompor.

O que se tem observado, é que as bacias hidrográficas de qualquer ordem vêm passando por fortes pressões em face das demandas dos usos dos seus recursos naturais para o desenvolvimento socioeconômico, que muitas vezes vão além da capacidade de resiliência dos seus ecossistemas (ALMEIDA e CARVALHO, 2010; ASEFA *et al.*, 2014; GODOY e CRUZ, 2016; IORIS *et al.*, 2008; LIMA e AUGUSTIN, 2014; OLIVEIRA e SILVA, 2014; TONY *et al.*, 2015).

Destaca-se, que a resiliência é um conceito oriundo da física e tem como significado mais geral, a capacidade de um corpo se recuperar ou se adaptar após ter sido comprimido, expandido ou dobrado, retornando ao seu estado original (ALMEIDA, 2010).

Holling (1973) foi um dos pioneiros em usar o termo resiliência para descrever a medida de persistência de sistemas e sua capacidade em absorver perturbação e ainda manter as mesmas relações entre populações. Definiu a resiliência como uma medida de persistência de sistemas e de sua capacidade de absorver mudanças e perturbações e ainda manter as

mesmas relações e funções para a população. Ele marcou o início de uma abordagem pró-ativa e abrangente para assegurar o bem-estar de um sistema. (GUNDERSON, HOLLING e LIGHT, 1997).

Timmerman (1981 apud Almeida 2010) foi um dos primeiros pesquisadores a discutir a resiliência das sociedades frente às mudanças climáticas, ligando este conceito ao de vulnerabilidade. O autor definiu resiliência como a medida da capacidade de um sistema (ou parte de um sistema) em absorver ou se recuperar da ocorrência de um evento danoso.

Hashimoto *et al.* (1982) definiram a resiliência como a probabilidade de um sistema se recuperar de um período de perdas, e introduziram medidas entre confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade para diferentes aspectos no desempenho do sistema de recursos hídricos. Defenderam que juntas essas medidas favorecem uma abordagem mais abrangente para analisar a probabilidade de sucesso ou fracasso de um sistema, além da percentagem de recuperação em estados insatisfatórios, e de quantificar a consequência por longos períodos.

Para Klein *et al.* (2003) a resiliência é analisada também como fator determinante da vulnerabilidade, assim como as noções de exposição e suscetibilidade. Tal abordagem proporciona uma análise de diferentes cenários, dos quais podem abranger estratégias de mitigação ou de adaptação específica para as intervenções existentes, como também exige uma decisão subjetiva para determinar o que constitui um "estado satisfatório", a partir dos riscos existentes. Tendo em vista que, quanto mais um sistema é apto a se restabelecer após uma catástrofe, menos ele é considerado vulnerável, o que remete às noções de resistência e resiliência.

Para Kendra & Watchendorf (2003), com o aumento do interesse em entender e aplicar o conceito de resiliência, particularmente após os ataques do 11 de setembro nos EUA, na sequência do furacão Katrina, mais definições de natureza divergente foram oferecidas a partir de diferentes domínios do sistema. Assim, a necessidade de padronizar o significado da resiliência tornou-se um aspecto importante dos estudos sobre este tema.

Fiksel (2003) discorre sobre a importância de uma resiliência sócio-ecológica que incorpora a capacidade dos sistemas sociais e ecológicos ligados a absorver distúrbios recorrentes para reter estruturas, processos e relações essenciais. Cada vez mais, os pesquisadores estão abordando conceitualmente o assunto, criando produtos ou sistemas com resiliência intrínseca ao invés de tentar antecipar choques imprevistos (FIKSEL, 2006; MU *et al.*, 2011; FRANCIS e BEKERA, 2014).

Para Brooks *et al.* (2005), a ecologia política e a pesquisa global sobre a mudança ambiental incorporam a ideia de capacidade de adaptação com a resiliência, todavia numa

ótica mais social, definindo-a como a capacidade de um sistema se ajustar a mudança, moderar os efeitos e lidar com uma perturbação. Descrevem ainda que a capacidade de adaptação, o uso de técnicas e planejamento de mitigação pode aumentar a resiliência da sociedade para os perigos do sistema. Porém, ressaltam que a relação entre a vulnerabilidade, resiliência e capacidade de adaptação ainda não é bem articulada.

Conforme Cutter *et al.* (2008), a resiliência de uma comunidade está intimamente ligada à condição do ambiente e ao tratamento de seus recursos. Neste aspecto, o conceito de sustentabilidade é essencial para os estudos sobre resiliência, pois dentro do contexto de desastres naturais, a sustentabilidade é definida como a capacidade de tolerar e superar dano, tendo em vista que um ambiente estressado por práticas insustentáveis pode experimentar graves riscos ambientais. Assim os desafios em técnicas de medição para a construção de resiliência residem na sua natureza multifacetada, em buscar a questão da resiliência de que e para que.

Tony *et al.* (2015) ao estudarem a resiliência sócio-ecológica de uma bacia hidrográfica urbana, definiram resiliência como a capacidade de um sistema adaptar-se a distúrbios e mudanças, mantendo sua estrutura, funções e processos centrais. Nesta pesquisa o conceito de resiliência sócio-ecológica denota que os sistemas sociais e os sistemas ecológicos estão interligados de formas complexas, numa dinâmica não linear e, portanto, a resiliência de todo o sistema vinculado difere da soma da resiliência de cada sistema separado.

Verifica-se, portanto, que existem vários significados de resiliência dentro da literatura, sem uma definição única amplamente aceita, tendo em vista as diferentes formas de aplicabilidade e, sobretudo, desenvolvida numa ótica mais social. Torna-se então relevante sua aplicação na perspectiva ambiental, sobretudo no recorte geográfico da bacia hidrográfica, haja vista a emergência do uso e manejo sustentável dos recursos hídricos para a manutenção do ambiente e, conseqüentemente, da sociedade.

A comunidade global tem sido muito atenciosa nesta conceituação e respectivo método de interpretação, em decorrência dos problemas ambientais, direcionando para o contexto das interações sociedade-natureza. Neste domínio de investigação, a resiliência é definida como a capacidade de um sistema absorver perturbações e se reorganizar em pleno funcionamento. Nela se inclui não só a capacidade de um sistema em retornar ao estado existente antes das perturbações, mas também para aprimorar ao estado de adaptação. Ou seja, a capacidade de um sistema de manter sua integridade no decorrer do tempo, sobretudo em relação às pressões externas (KLEIN *et al.*, 2003; ADGER *et al.*, 2005; FOLKE, 2006;

CUTTER *et al.*, 2008; FIKSEL, 2006; MU *et al.*, 2011; HOQUE *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2013; ASEFA *et al.*, 2014; FRANCIS & BEKERA, 2014; JUAN-GARCIA *et al.*, 2017).

Para Farral (2012) a resiliência de um sistema socioecológico, ou seja, a sua persistência no domínio de estabilidade onde se encontra, depende da dinâmica das interligações entre os vários subsistemas que o integram.

Campos *et al.* (2013) avaliaram a resiliência dos ecossistemas a partir da capacidade destes em absorver distúrbios, analisando as condições de aridez ocasionadas pelas condições climáticas no início do século XXI, associando à disponibilidade anual de água no final do século XX. Constataram uma intrínseca sensibilidade das comunidades vegetais à disponibilidade de água e uma capacidade compartilhada em tolerar a baixa precipitação anual, como também para responder à elevada precipitação anual.

Estes resultados forneceram um modelo conceitual de resiliência dos ecossistemas numa escala decadal das condições hidroclimáticas. Durante os anos mais secos os locais de alta produtividade ficaram com limitada quantidade de água, semelhante ao encontrado em ecossistemas mais áridos. Verifica-se, portanto, que quando os ecossistemas são limitados principalmente pela presença da água, a produção será limitada em grande parte pelo abastecimento de água e menos por nutrientes e luz. Assim, existe a possibilidade de acompanhar a resiliência dos ecossistemas à medida em que se desenvolve uma maior compreensão dos mecanismos físicos e biológicos que controlam esses padrões (ASEFA *et al.*, 2014).

Destaca-se, todavia, que estes critérios de medidas usados por Campos *et al.* (2013) nem sempre são aplicáveis para todos os casos, visto que cada ambiente possui sua particularidade, podendo ser adaptado a cada caso. Assim, torna a identificação da situação indesejável, critério necessário para análise do nível de risco para o sistema de recursos hídricos como um todo (ASEFA *et al.*, 2014).

Nesta perspectiva, avaliando a qualidade de bacias hidrográficas, Hoque *et al.* (2012) desenvolveram um método a partir da elaboração de um índice, utilizando medidas baseadas no risco, tais como: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Em termos gerais, definiram a confiabilidade como a probabilidade de um sistema permanecer em estado de proteção. A resiliência foi considerada como a expectativa de um sistema se recuperar de um estado de degradação para um estado seguro em um determinado momento. E, por fim, a vulnerabilidade como uma medida da severidade do estado de degradação. O uso destes índices tem sido comum na avaliação de risco ecológico, no entanto, deve haver a área limite

para aplicação desses indicadores, como forma de permitir uma avaliação reforçada da saúde de bacias hidrográficas.

Neste contexto, verifica-se a necessidade de conhecer melhor a dinâmica e limitações de uma área, para se estabelecer diretrizes que subsidiem o manejo dos recursos naturais e adoção de restrições mais seguras quanto ao uso do solo, manejo dos recursos hídricos e da vegetação, para posteriormente averiguar a capacidade de resiliência do ambiente e, conseqüentemente, da sociedade que utiliza desses recursos.

Para tanto, nesta pesquisa será analisada a capacidade de resiliência do ambiente da bacia hidrográfica do rio Poti, em seu baixo curso, numa abordagem sistêmica, visando uma compreensão integrada do meio físico, sobretudo dos aspectos do solo, vegetação e recursos hídricos, por existir uma correlação entre eles, além da sua relevância para a recomposição do ambiente, frente aos processos antrópicos existentes.

O solo, por se considerar um fator físico importante na resiliência do ambiente de bacias hidrográficas, sendo sua adequada utilização e conservação de suma importância nos processos que atuam sobre os corpos hídricos. Todavia, o ser humano o tem utilizado como um recurso inesgotável, buscando atender as suas necessidades atuais, e raramente na conservação para o uso futuro.

Segundo Prado (1998) para se obter sucesso no manejo do solo é importante conhecê-lo sob o ponto de vista químico, físico, mineralógico e morfológico, para posteriormente fazer estudos interpretativos como de potencialidade e suas limitações. Dessa forma, é possível promover a produtividade máxima de determinada região, como também proteger contra possíveis danos ambientais.

Considera-se também, que a degradação das características físicas do solo pelo uso exaustivo, é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e o aumento da erosão hídrica.

Os recursos hídricos, por ser no aspecto hidrológico da bacia hidrográfica de extrema relevância para a manutenção do ambiente, a disponibilidade hídrica é avaliada com base na série hidrológica de vazões, que dependem das características da precipitação, evapotranspiração e da superfície do solo (TUCCI, 2006; REBOLÇAS, 2006, OLIVEIRA e SILVA, 2014). As bacias hidrográficas localizadas em áreas que apresentam baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos ficam determinadas a passar por situações de estresse hídrico, necessitando dessa forma, de intensa atividade de planejamento e gestão, tal como ocorre na área em estudo da qual possui acentuada variação de precipitação, concentrada nos meses de janeiro a abril.

A vegetação, por auxiliar na preservação do ambiente e proteger as margens dos rios. Sua retirada de forma inadequada provoca impactos negativos no solo, nos recursos hídricos e, conseqüentemente, na população. Destaca-se que o baixo curso do rio Poti ocupa áreas ecotonais, com diversidade significativa entre o cerrado, a caatinga e a floresta de cocais.

Tem-se observado nas últimas décadas que o desenvolvimento das técnicas agrícolas e das formas de uso do solo tem crescido. Contudo, na mesma proporção, não houve avanços nas técnicas de preservação dos recursos naturais. Diante dessa realidade os corpos hídricos, solo e vegetação ficam comprometidos, sendo a análise sistêmica na perspectiva da bacia hidrográfica que poderá apontar propostas de recomposição do solo, recuperação da vegetação e dos corpos hídricos.

Silva Neto (2012) identificou na bacia hidrográfica do rio Salobra no Mato Grosso do Sul, que o principal problema ao se tratar do uso da terra, se refere às áreas de incompatibilidade do uso, que corresponde às áreas utilizadas de maneira inadequada, para fins de pecuária extensiva e atividades agrícolas, por não serem respeitadas as limitações físico-naturais de ambientes vulneráveis, como exemplo, áreas com relevo fortemente dissecado ou áreas de solos rasos suscetíveis à erosão.

Assim, as formas de ocupação desordenada bacia hidrográfica e manejo inadequado dos recursos naturais existentes, colocam em risco o ambiente, em muitos casos comprometendo a resiliência dos ecossistemas. Por isso, tornam-se relevantes pesquisas que indiquem formas de amenizar ou abortar os riscos existentes neste recorte geográfico.

2.2.1 A vulnerabilidade social e a resiliência

Para Adger *et al.* (2004), a vulnerabilidade é o resultado de interações, complexas e fracamente entendidas, que implicam o envolvimento tanto de processos físicos como da dimensão humana. Nesta ótica, Dwyer (2004), argumenta que a vulnerabilidade é uma questão de capacidade de recuperação, aproximando-se assim do conceito de resiliência. Birkmann *et al.* (2010), defendem que para caracterizar adequadamente a vulnerabilidade humana é necessário considerar a vulnerabilidade do ecossistema.

A definição de vulnerabilidade considerada é examinada dentro do contexto humano-ambiente mais amplo e intimamente ligada. Sua estrutura conceitual também leva em consideração o conceito de adaptação, que é visto como um elemento que aumenta a resiliência (TURNER *et al.*, 2003; KASPERSON, 2005).

Assim, as ligações entre o sistema humano-ambiental desempenham um papel importante no discurso de resiliência ambiental (Folke *et al.*, 2002; Allenby e Fink, 2005; Adger *et al.*, 2005), sendo, o ponto de partida para promover uma cultura de resiliência no âmbito das vulnerabilidades físicas, sociais, econômicas e ambientais para os problemas que enfrentam a maioria das sociedades. Assim, o conhecimento sobre vulnerabilidades permite aos decisores administrativos integrar políticas de redução de vulnerabilidade e medidas preventivas no planejamento e estratégias de desenvolvimento em meio urbano e rural (ONU, 2004).

Conforme Kasperson (2005), em função da contínua degradação ambiental, medir a vulnerabilidade é uma tarefa crucial se o propósito for apoiar a transição para um mundo mais sustentável. Uma vez que o desenvolvimento sustentável é caracterizado por três pilares: sociais, econômicos e ambientais. Torna-se cada vez mais necessária uma abordagem integrada da análise dos problemas ambientais, reconhecendo que estes não podem ser analisados isoladamente (ONU, 2004)

Segundo Cutter (2003), as diferentes abordagens sobre vulnerabilidade apresentam três enfoques principais: a probabilidade de exposição (biofísica ou tecnológica), a probabilidade de consequências adversas (vulnerabilidade social) e a terceira, que integra as duas anteriores, representada por estudos voltados à distribuição da condição perigosa, ou vulnerabilidade como condição existente àqueles que se ocupam com as respostas da sociedade, ou vulnerabilidade como resposta controlada, e a vulnerabilidade como perigo do lugar. Esses estudos focam a mensuração de riscos biofísicos (ambiental), a produção social de riscos e as capacidades de respostas da sociedade e dos indivíduos.

Conforme Mendes *et al.* (2011), para uma correta avaliação da vulnerabilidade social e da sua integração como instrumento eficaz de planejamento, deve-se atender aos seguintes aspectos: dimensões estruturais do território; características biofísicas; estrutura e dinâmica demográficas; capital social e redes sociais; dimensões socioculturais; políticas públicas; políticas de desenvolvimento e de investimento público; atividade econômica. Destacam, todavia, que a integração dos fatores biofísicos e socioculturais na análise da vulnerabilidade social implica uma perspectiva mais abrangente.

Para Cutter (2003), a mudança ambiental é apenas um dos fatores que influenciam a vulnerabilidade social, pois do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, outros fatores como a globalização, a equidade e os problemas de governança também devem ser levados em consideração na análise de vulnerabilidade.

Destaca-se que ao afetar a produtividade da terra, a degradação piora a pobreza rural, particularmente quando os mecanismos de enfrentamento são fracos nas áreas rurais, e a pobreza é muitas vezes um motor para as migrações dessas áreas para os centros urbanos, que pode reduzir temporariamente a pressão sobre as terras agrícolas, mas podem aumentar a pressão sobre as áreas urbanas (VLEK, 2005).

Segundo Toigo e Conterato (2017), embora a pobreza e a vulnerabilidade estejam muito relacionadas entre si, a melhora das condições econômicas de um grupo social não conduz, de modo sistemático, à adoção de medidas apropriadas de redução de sua vulnerabilidade.

Para Cutter (2003), as características que influenciam a vulnerabilidade social mais frequentemente encontradas na literatura estão a idade, gênero, raça e status socioeconômico. Outras características identificam as populações de necessidades especiais. A qualidade dos assentamentos humanos (tipo de habitação e construção, infra-estrutura e linhas de vida) e o ambiente construído também são importantes na compreensão da vulnerabilidade social, especialmente porque essas características influenciam o potencial. Considera que a população rural pode ser mais vulnerável, devido a rendimentos mais baixos e mais dependentes das economias locais de extração de recursos, como pela agricultura e pesca.

A vulnerabilidade socioambiental, segundo Cutter (2011) corresponde ao potencial para a perda. Inclui tanto os elementos de exposição ao risco como os fatores de propensão às circunstâncias que aumentam ou reduzem as capacidades da população, das infraestruturas ou dos sistemas físicos para responder e se recuperar de ameaças ambientais. Refere ainda, a necessidade de uma abordagem integradora e interdisciplinar para o estudo da vulnerabilidade social e/ou socioambiental, que essa decorre, sobretudo, da complexidade das interações entre os sistemas naturais, sociais, econômicos e culturais envolvidos. A autora elege, também, como princípio fundamental, o conhecimento geoespacial da investigação, a importância da escala local que coloca os aglomerados populacionais e, em particular, as cidades, apesar das suas diferenciações e mesmo das suas contradições internas, como objetos particulares do estudo das vulnerabilidades.

Para Freitas e Cunha (2013), são muitos os estudos que cuidam da integração de dados geoespaciais com dados socioeconômicos, principalmente dados quantitativos, relativos à economia, à sociedade e à demografia, para a obtenção de resultados relativos à avaliação da vulnerabilidade. Destacam ainda, que os caminhos para a análise da vulnerabilidade passam por diferentes componentes quantitativos e qualitativos, que se complementam e que não podem ser desprezados. Assim, conhecer o contexto em que se insere o grupo social

envolvido, em termos socioeconômicos e ambientais, é o ponto de partida para os estudos de vulnerabilidade, nos quais devem ser também incorporadas a cultura e a percepção da sociedade envolvida, para que seja possível alguma precisão no mapeamento da vulnerabilidade.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS POR SETORES ESTRATÉGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para Tricart (1977, p.19),

[...] o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, dinâmico, e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza estático.

O pensamento sistêmico na Geografia insere-se na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica do complexo ambiental. Nesta ótica, Vicente e Perez Filho (2003) comentam que através da evolução e interação de seus componentes socioeconômicos e naturais no conjunto de sua organização espaço-temporal, torna-se importante o levantamento de propostas de cunho sistêmico e integrada do objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e de sua inerente complexidade.

Cabe destacar que os sistemas abertos apresentam maior aproximação com os objetivos das investigações geográficas, por abranger a grande parte dos sistemas existentes na natureza e também os desenvolvidos e mantidos pelas atividades socioeconômicas. Por isso, a partir da análise das transformações operadas sobre as entradas e saídas de energia e matéria dos sistemas abertos, torna-se possível evidenciar características de seu funcionamento.

Christofolletti (1979) considera as bacias hidrográficas como um dos sistemas abertos básicos em que ocorre a inter-relação dos elementos por meio da entrada de energia e matéria, que condiciona transformações, gerando assim um produto. Os atributos de cada um dos elementos desse sistema responsabilizam-se pela transformação das entradas (em atividades distintas e/ou conjuntas) encontrando-se em ocasiões de equilíbrio e em momentos extremos,

quando o fluxo de energia varia para mais ou para menos, condicionando as unidades a modificações em sua combinação e organização.

Dessa forma, a abordagem em sistemas abertos aplica-se em pesquisa envolvendo bacia hidrográfica, por existirem relações entre os fluxos de matéria e energia pelos elementos que a compõe. Contribui assim, na resolução de problemas ligados à população, recursos naturais e impactos provocados pelas intervenções antrópicas.

Christofoletti (1999, p. 131) explica que as atividades socioeconômicas ocasionam mudanças na morfologia e nos processos dos sistemas ambientais e que as repercussões dessas atividades “incidem em modificações na superfície da Terra, que se processam em ritmos variados ao longo dos tempos históricos, estando atreladas aos vários estágios de desenvolvimento técnico e científico das atividades humanas”.

Para Simon (2007, pag. 68) a análise das organizações espaciais, no escopo da ciência geográfica, engloba os elementos biofísicos, sociais e econômicos, que se articulam e se organizam, constituindo estruturas complexas.

Explana Christofoletti (1999) que, sob a ótica sistêmica, as organizações espaciais podem ser compreendidas como a inter-relação do sistema ambiental e do sistema socioeconômico. Dessa forma, os sistemas ambientais abrangem as características biogeofísicas das organizações espaciais, compreendendo as formas do relevo, os tipos de solo, a cobertura vegetal e os recursos hídricos, todos espacialmente materializáveis.

Nesta pesquisa, considera-se que os sistemas ambientais correspondem a sistemas abertos de processo-resposta, ajustados por forças impulsionadoras de ordem natural, que mantêm as flutuações na entrada e na saída de matéria e energia, promovendo manutenção e alterações temporais na estrutura do sistema, a partir de transformações nos processos, seguindo ritmos naturais. A intervenção antrópica sobre o sistema ambiental, a partir do avanço das técnicas de apropriação dos elementos naturais, efetivou a imposição de mecanismos externos (não-naturais) ao sistema ambiental. Essas regras são capazes de atuar nos funcionamentos da estrutura e dos processos do sistema ambiental, por meio da imposição de dispositivos que determinam o fluxo de matéria e energia, regulando as relações dos atributos dos elementos e, conseqüentemente, sua morfologia.

Compreende-se também que as alterações ocasionadas no ambiente na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti ao longo do tempo foram introduzidas por mecanismos de controle antrópico sobre os elementos do sistema ambiental. Esses mecanismos aceleraram, retardaram ou anularam certos processos naturais, determinando regras artificiais que desencadearam uma série de alterações sobre a morfologia original do sistema.

Cabe destacar que o recebimento de matéria e energia pelo sistema é denominado de *input*. Essa entrada é responsável pela situação do sistema durante o tempo, uma vez que percorre seus elementos, sendo processada pelos seus atributos que se relacionam entre si no compartilhamento dos fluxos. Como em todo sistema aberto, as cargas de energia e matéria recebidas são eliminadas após serem transformadas pelos atributos dos elementos, sendo que uma parte desses fluxos também permanece armazenada. A eliminação desse produto pelo sistema é denominada de *output* (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A quantidade de energia recebida pelo sistema determina o seu grau de entropia. De acordo com Christofolletti (1979, p. 12) “a entropia pode ser considerada como medida do grau de desordenação que permanece no sistema, ou do grau de energia disponível para o trabalho, estando em relação inversa a ela: quanto maior a entropia, menor a quantidade de energia disponível”.

Assim, nos sistemas abertos, como os sistemas ambientais, os *inputs* são constantes e apresentam magnitudes que variam de acordo com a intensidade dos fenômenos responsáveis pelo fornecimento de matéria e energia.

Destaca-se que qualquer esforço aplicado sobre o sistema ambiental, resultante do aumento ou diminuição na magnitude dos *inputs*, provoca o reajustamento de seus elementos, a fim de equilibrar-se às novas características impostas. Entretanto, a intensa aplicação de certa força pode aproximar-se da capacidade de manutenção das características iniciais do sistema, podendo atingir e/ou ultrapassar seu limite de recuperação, ou seja, comprometendo sua capacidade de resiliência.

Neste contexto, o rompimento desse limite está diretamente ligado à resistência e à resiliência do sistema diante das forças aplicadas na modificação de sua estabilidade; a resistência refere-se à capacidade do sistema em permanecer no seu estado de equilíbrio dinâmico, sem sofrer os efeitos das forças modificadoras. Entretanto, quando as forças aplicadas promovem o rompimento da resistência, o sistema aproxima-se de seu limite de recuperação, se antes de atingir esse ponto as forças forem cessadas, o sistema tenderá a voltar ao seu estado de equilíbrio dinâmico, restaurando suas características originais e demonstrando assim sua resiliência, ou seja, sua capacidade de recuperação diante de eventos extremos (MODDEMEYER, 2015; JUAN-GARCIA *et al.*, 2017).

Para Christofolletti (1999), os conceitos de resistência e resiliência são muito importantes para os cientistas e para os planejadores e responsáveis pelo manejo de sistemas ambientais, a fim de analisar e avaliar a estabilidade dos sistemas em termos de sua

manutenção ou de sua rápida recuperação após a implantação dos efeitos perturbadores, assinalando o caráter temporário e reversível do impacto ambiental ou antrópico.

A escala temporal dos eventos que ocasionam mudanças no equilíbrio dinâmico dos sistemas ambientais pode situar-se entre intervalos muito pequenos, no caso de catástrofes naturais extremamente rápidas, ou alcançar escala de décadas, séculos e milênios.

Destaca-se também, que as transformações ocasionadas pela interferência das atividades humanas nos sistemas ambientais são responsáveis pela aceleração, retardamento e extinção de alguns processos naturais, ocorrendo sobre os elementos climáticos, geomorfológicos, hidrológicos e sobre os ecossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999)

Christofoletti (1999, p. 37) comenta que “no universo sistêmico, o meio ambiente é constituído pelos sistemas que interferem e condicionam as atividades sociais e econômicas. Considerando os sistemas ambientais, responsáveis pelo fornecimento de materiais e energia aos sistemas socioeconômicos”. Nesta perspectiva, não há como situar-se alheio às interferências antrópicas sobre o sistema ambiental, seja pelo viés da apropriação dos recursos naturais, seja pelas consequências dessa exploração que se caracterizam pelos impactos ambientais.

Dessa forma, as intervenções antrópicas sobre os elementos e atributos dos sistemas ambientais podem atuar de maneira direta ou indireta sobre as formas e os processos naturais, alterando o seu equilíbrio dinâmico, bem como na capacidade de resiliência do ambiente.

Assim, a avaliação da resiliência do ambiente como critério para os gestores ambientais, passa auxiliar no planejamento gerenciamento do manejo dos recursos ambientais. Todavia, para o efeito, deve ter lugar um diálogo adequado entre as autoridades competentes, a ciência, a política e o público em geral.

2.3.1 Planejamento territorial em bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica tem sido cada vez mais utilizada como unidade de gestão na área de planejamento ambiental, numa perspectiva da conservação dos recursos naturais. Isto favorece uma abrangência além dos seus aspectos hidrológicos, envolvendo o conhecimento da estrutura biofísica e das mudanças no padrão de uso da terra e suas implicações ambientais (BURBY *et al.*, 2000; NUCCI, 2001; GODOY e CRUZ, 2016).

Para a gestão de bacias hidrográficas, é importante uma análise holística das ligações entre o uso da terra, a geomorfologia, pedologia e o clima, sendo a conservação do solo e da água questões-chave para demarcar as bacias hidrográficas prioritárias (TRICART, 1976).

Neste contexto, a análise integrada dos ambientes naturais fundamentada na concepção de Bertrand (1972) e Tricart (1977), constitui ferramenta de investigação geográfica voltada para a compreensão das estruturas e processos que se desenvolvem na superfície terrestre, para subsidiar propostas de ações visando uma gestão ambiental. Assim, esta pesquisa se aplicada neste tipo de análise para avaliar a capacidade de resiliência do ambiente no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, através dos fatores de pressão antrópica sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos. Por estas variáveis, possibilitar um diagnóstico das diferentes fragilidades desses recursos no ambiente.

Destaca-se que o processo de gerenciamento e planejamento ambiental de bacia hidrográfica a princípio era direcionado à solução de problemas relacionados aos recursos de água, priorizando o controle das inundações ou irrigação, navegação e abastecimento público e industrial. No entanto, tem-se observado que as implicações sobre o uso dos recursos hídricos provêm de uma série de fatores naturais, econômicos, sociais e políticos, sendo a água somente um ponto de convergência de um complexo sistema ambiental (TUCCI, 2006).

A água é um dos fatores ambientais que tem suscitado grande preocupação aos gestores públicos. Os grandes desafios que se vislumbram hoje no Brasil são a consolidação dos aspectos institucionais do gerenciamento e o controle dos recursos hídricos nas grandes metrópoles brasileiras, a preservação ambiental, o uso e controle do solo e o controle da poluição difusa, no âmbito de uma visão racional de aproveitamento e preservação ambiental.

Nesta perspectiva, a água é um fator essencial no desenvolvimento socioeconômico em regiões de grande variabilidade sazonal de precipitação e em regiões secas como no Nordeste brasileiro, onde sua disponibilidade em quantidade e qualidade implica diretamente nas condições de vida da população (TUCCI, 2006).

As intervenções humanas ao longo da bacia hidrográfica são as grandes causadoras de danos, os quais podem agravar ou reduzir os impactos existentes. As principais intervenções são as decorrentes da urbanização e dos obstáculos ao escoamento da água, ocasionando em muitos casos enchentes e deslizamentos (TUCCI, 2008; JUAN-GARCIA *et al.*, 2017).

O Brasil é no contexto mundial, um país privilegiado pelas reservas importantes de recursos hídricos, embora apresente uma distribuição heterogênea deles. As localidades, ou regiões, de maior demanda são contrariamente àquelas de maior disponibilidade, as que apresentam os principais e mais graves problemas relativos ao abastecimento e ao suprimento de água para o desenvolvimento dos processos produtivos agropecuários, industriais e de serviços (OLIVEIRA e SILVA, 2014).

Dessa forma, a prática do planejamento preventivo é importante pelo fato de mitigar os impactos sobre os sistemas ambientais e socioeconômicos existentes numa bacia hidrográfica, particularmente os que exibem maior vulnerabilidade, como contributo para aumento do grau de resiliência das comunidades locais.

Entre as metodologias voltadas para a gestão de bacia hidrográfica, o SIG e a análise de imagens orbitais têm auxiliado nas determinações das medidas de manejo ambiental. O uso dos SIG permite sobrepor diversas informações espaciais, permitindo a correlação e comparação entre as informações como tipo de solo, uso da terra, hidrologia, vegetação, etc., como oferece também a oportunidade de executar modelagem para prever padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a possíveis cenários de ocupação e uso dos recursos, auxiliando os tomadores de decisões na definição de diretrizes a respeito do uso da terra.

O SIG é composto por um conjunto de ferramentas computacionais que permite o armazenamento, processamento e gerenciamento de dados espaciais, bem como consulta, análise, visualização e produção de dados tabulares, gráficos e digitais. É propício para examinar questões de natureza espacial, orientando os programas de conservação recuperação e políticas públicas de planejamento regional, como também permite ilustrar que espaços dentro de uma área em estudo apresentam maior vulnerabilidade, identificar populações expostas às atividades da sociedade e fornecer informações quanto aos fatores sócio-econômicos que podem influenciar na vulnerabilidade. Assim, a análise por sobreposição no SIG é útil para quantificar a vulnerabilidade e avaliar a capacidade de resiliência da bacia hidrográfica.

Dessa forma, o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem incorporar todos os recursos ambientais da área de drenagem, adotar uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, bem como incluir os objetivos de qualidade ambiental para utilização dos recursos naturais (CUPPENS *et al.*, 2012).

Assim, nesta pesquisa, para avaliar a capacidade de resiliência do ambiente no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti será utilizada da ferramenta do SIG numa comparação espaço-temporal, para diagnosticar a capacidade do ambiente se recompor diante dos fatores de pressão antrópica sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos.

2.3.2 Planejamento de uso e conservação ambiental de áreas ribeirinhas

As áreas ribeirinhas são faixas de terra destinadas à manutenção da qualidade do solo. Dada sua importância ao ambiente são determinadas Áreas de Proteção Permanente (APP), por terem papel estratégico na conservação da biodiversidade e qualidade dos recursos hídricos, além de outros relevantes atributos.

Observa-se que no decorrer dos tempos, as técnicas de manejo e controle dos rios foram sendo aprimoradas. Contudo, este avanço não acompanhou, na mesma proporção, as técnicas de conservação e uso sustentável deste recurso, deixando-os vulneráveis a futuras intervenções para o abastecimento e desenvolvimento das atividades humanas.

Mesmo protegidas pelas disposições legais existentes, as APP continuam sendo impactadas e reduzidas, aumentando o estado de degradação ambiental especialmente do ecossistema urbano. Dada a grande importância ambiental das áreas ribeirinhas, o seu controle tornou-se uma obrigação legal da União, Estados e Municípios. Entretanto, mesmo que a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, §1º, III, tenha introduzido a inovação sobre os espaços protegidos e seus componentes, a legislação não tem sido devidamente compreendida e implementada.

Desta forma, o uso e ocupação do solo às margens de um curso d'água têm ocasionado sérios impactos ao ambiente, em algumas situações até irreversíveis, pois se configuram como consequência das alterações decorrentes da urbanização desordenada e empreendimentos que ignoram a questão ambiental, comprometendo sua capacidade de resiliência (NUCCI, 2001; TUCCI, 2006 e 2008; MAROTTA, SANTOS, ENRICH-PRAST, 2008; OLIVEIRA e CARLOS, 2014).

Para que o planejamento de uso do solo ribeirinho seja eficaz, torna-se importante uma abordagem sistêmica, abrangente e transdisciplinar. É importante fazer um levantamento detalhado dos aspectos abióticos, bióticos e culturais, além de conhecer a biodiversidade local, tendo a bacia hidrográfica como unidade planejamento (VOLLMER, 2015).

Destaca-se que os índices de vegetação são importantes indicadores da qualidade ambiental, além de ser parâmetro significativo nos estudos sobre o meio ambiente. A cobertura vegetal protege o solo, dissipando a energia da gota de chuva antes de atingir a sua superfície. Todavia, o valor da energia depende do tipo de vegetação, estágio de crescimento e cobertura percentual. Assim, a perda de solo é muito sensível à cobertura vegetal nas áreas de APP (ZAKIA, 1998; SANTOS, 2013).

Dessa forma, a vegetação ripária é importante no controle de erosão em áreas fluviais, por produzirem efeitos sobre os taludes fluviais, como: interceptar a água das chuvas,

umentar a evapotranspiração, ancorar o talude, além de recobrir o solo pelo acúmulo de serrapilheira na superfície (ZAKIA, 1998).

Assim, essa vegetação possui funções ecológicas significativas para prevenir erosão dos solos e assoreamento de corpos d'água, promover a infiltração das águas das chuvas, capturarem gases de efeito estufa, ser *habitat* para diversas espécies promovendo a biodiversidade, mitigar efeitos de ilhas de calor, dentre outras (FREMIER *et al.*, 2015)

Especula-se que o ser humano passou a se preocupar com a erosão dos solos desde que passou a desenvolver a agricultura, quando adquiriu um modo de vida fixo, que exigiu seu uso intensificado, conseqüentemente levando a degradação da cobertura vegetal, acarretando a exposição do solo aos processos erosivos (LEPSCH, 2002).

Observa-se assim, que a intensificação dos processos erosivos está diretamente associada aos usos inadequados da terra, que normalmente ocorrem sem o conhecimento prévio adequado da área utilizada.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a classificação da capacidade de uso do solo busca estabelecer diretrizes para um aproveitamento mais eficiente da terra. Com isso, dividem-se as terras produtivas em três categorias: A) Terras próprias para todos os usos, inclusive cultivos intensivos; B) Terras impróprias para o cultivo intensivo, mais aptas para pastagens e reflorestamento ou manutenção da vegetação natural; C) Terras impróprias para cultivo, recomendadas para proteção da flora, fauna ou recreação.

Para Lepsch (2002) o grau de capacidade de uso irá indicar qual intensidade máxima de cultivo pode ser aplicada a determinado solo, sem que sua estrutura seja comprometida, degradada ou ocorra perda de seus nutrientes por efeito da erosão.

Ressalva-se que estas classes de capacidade de uso são caracterizadas, em termos gerais, apenas do ponto de vista das condições físicas da terra, não se comparando com exatidão uma região para outra, mas sim em princípios gerais das condições fundamentais do solo e suas condições locais. Destaca-se que cada ecossistema possui determinada capacidade de absorver as intervenções de uso e manejo pelas atividades antrópicas, seja para agricultura ou urbanização, possuindo, portanto, capacidades de resiliência diferenciadas (MODDEMEYER, 2015; JUAN-GARCIA *et al.*, 2017).

Deste modo, o ecossistema ripário constitui uma interface entre o ambiente terrestre e o aquático, refletindo um complexo de fatores geológicos, climáticos, hidrológicos que em interação com os fatores bióticos definem uma heterogeneidade de ambientes. Dessa forma, necessita-se de planejamento e gestão adequados, tendo em vista que a vegetação ripária é

responsável por grande parte do regime ambiental do ecossistema aquático (COELHO; BUFFON; GUERRA, 2011).

As intervenções antrópicas no ecossistema aquático, como a construção de barragens e formação de grandes reservatórios, cuja forma de operação resulta em alterações no regime de vazão dos rios, além da irregularidade temporal e espacial das precipitações, geram um alto grau de incerteza da quantidade de água possível de ser ofertada anualmente nos reservatórios, compromete também esse ecossistema (MUGUME *et al.*, 2015).

Essa realidade fisiográfica, evidencia a necessidade de se promover uma gestão dos recursos hídricos de maneira que envolva ações de planejamento, monitoramento, operação, com a participação efetiva dos usuários de água, como forma de estabelecer a sustentabilidade dos ecossistemas (MODDEMEYER, 2015).

Em diversos lugares do mundo, observa-se o desenvolvimento das cidades e até metrópoles nas margens de rios, caracterizando uma cultura da população tanto oriental como da ocidental (NUNES *et al.*, 2016). No caso do ocidente, sobretudo no Brasil, que dispõe de uma riqueza hídrica inestimável, tem-se dado pouca importância no que se trata da preservação e valorização dos recursos hídricos em áreas urbanas, como se preserva no oriente, mesmo possuindo legislação específica para preservação, uso e manejo dos rios, dada a importância deste recurso para o ambiente e sociedade.

Importantes cidades do mundo possuem rios que as simbolizam. No Brasil, de forma geral e poucas exceções, os rios urbanos são desvalorizados pela sociedade, em razão de adaptar a natureza ao interesse econômico. Dessa forma, rios tem se tornado canais, córregos de esgotos e resíduos sólidos, transformando-se em ambientes degradados.

Destaca-se que o Brasil possui a maior bacia hidrográfica e o maior rio perene do mundo. Essas características grandiosas já eram descritas na carta de Pero Vaz de Caminha ao rei de Portugal, no descobrimento deste território. “As águas são muitas; infinitas. Em tal maneira é graciosa que, querendo-a aproveitar, dar-se-á nela tudo; por causa das águas que tem”.

No Brasil o desenvolvimento da estrutura legal para a gestão de recursos hídricos teve como marco inicial a promulgação do Código de Águas, em 1934. Posteriormente, em 1997 foi promulgada a Lei Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433), que definiu os princípios, diretrizes e instrumentos para a gestão dos recursos hídricos no país, reconhecendo que a água é um bem público, que apresenta múltiplos usos e incorporando a necessidade dos Comitês de Bacias Hidrográficas.

Em 1965 foi elaborado o Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 4771), o qual apresentava as áreas ribeirinhas como legalmente protegidas, considerando-as Áreas de Preservação Permanente (APP), sendo estabelecido um afastamento mínimo ao longo do leito do rio. Esse afastamento foi desconsiderado ou não existiu em muitas dessas áreas. A legislação estabelece valores fixos de larguras das zonas ripárias em função da magnitude do corpo de água. No entanto, fatores físicos, químicos e biológicos controlam o funcionamento desejado dessas faixas.

No atual Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651 de 2012), o artigo 61-A, incluído na Lei pela Medida Provisória para suprimir lacuna deixada pelo veto ao artigo 61 do texto aprovado na Câmara dos Deputados, acorda os critérios mínimos para a recomposição da vegetação nativa ilegalmente desmatada em APP hídricas, considerando, como princípio, o tamanho da propriedade em módulo fiscal. De acordo com este artigo, ficam autorizadas as atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em APP estabelecidas em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008, em que as propriedades devem se adequar às seguintes exigências:

- (i) No caso de imóveis rurais de até quatro módulos fiscais, as faixas a serem obrigatoriamente recompostas variam de 5 a 10 metros de largura, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do rio, de acordo com o seguinte escalonamento: até 1 módulo fiscal, recomposição de 5 metros; entre 1 e 2 módulos fiscais, recomposição de 8 metros; entre 2 e 4 módulos fiscais, recomposição de 15 metros;
- (ii) Para os imóveis com área superior a quatro módulos fiscais, a largura mínima exigida será de vinte metros, e a máxima, de cem metros, assim estabelecido: imóveis entre 4 e 10 módulos fiscais, recomposição de 20 metros para os rios de até 10 metros; e, nos demais casos, a recomposição da faixa marginal corresponderá à metade da largura do curso d'água, observado o mínimo de 30 metros e o máximo de 100 metros;
- (iii) já no caso de áreas consolidadas em Área de Preservação Permanente no entorno de nascentes e olhos d'água perenes, a recomposição do raio mínimo observará o seguinte critério: imóveis até 1 módulo fiscal, 5 metros; entre 1 e 2 módulos fiscais, 8 metros; e imóveis maiores que 2 módulos fiscais, 15 metros;

Desta forma, fica reduzida drasticamente a proteção dos cursos d' água, tendo em vista que a faixa ao longo deles é locada no que se entende ser o próprio corpo d'água, uma vez que o leito maior sazonal nada mais é do que o local onde as águas extravasam no período de cheias, correspondentes às planícies de inundação, também conhecidas como várzeas. Estas,

situadas no leito sazonal maior, ficaram mais vulneráveis, pois parte delas corresponde à APP, ficando o restante sem nenhum tipo de proteção.

Outra observação quanto ao novo código florestal brasileiro é que foi retirado o caráter de intermitência do conceito de nascente, mantendo-se somente para olho d'água, sendo definido como APP apenas as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, no raio mínimo de 50 metros. Com isto, uma vez que esta característica é muito presente no território brasileiro nas grandes cidades, resultará em menor proteção do recurso hídrico.

Destaca-se que no novo código florestal (BRASIL, 2012), a nascente é definida como afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade (abundante) e dá início a um curso d'água. Já olho d'água, é o afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente (não contínuo).

A nova Lei também não faz menção à proteção da bacia hidrográfica contribuinte. Tal detalhe é relevante, pois deixará de ser possibilitada a proteção adequada da área de recarga das nascentes, restringindo-a ao seu entorno imediato. Esta questão estava contemplada na Resolução CONAMA Nº 303 de 2002. A Tabela 1 mostra as alterações dos limites das APP's de cursos d'água segundo a largura do mesmo, conforme a Lei Federal nº 12.651 de 2012

Tabela 1 - Alterações dos limites das APP's de cursos d'água segundo a largura do mesmo

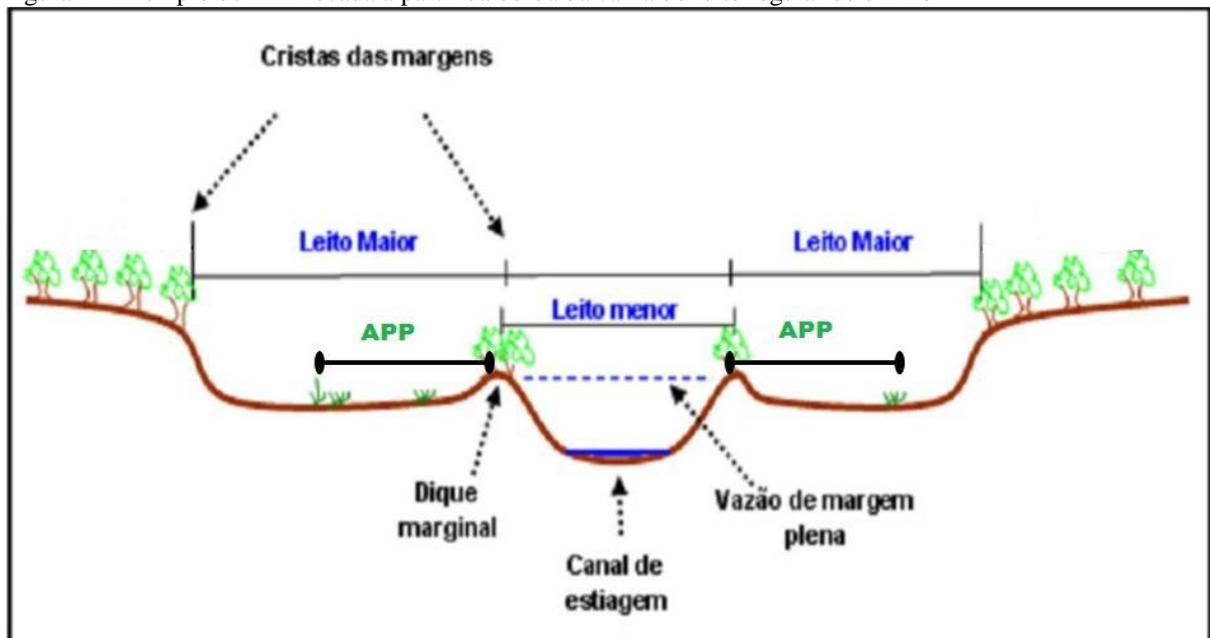
Largura do curso d'água (m)	Entre 15/09/65 E 08/07/86 (a contar da faixa marginal do curso d'água)	Entre 08/07/86 E 20/07/89 (a contar da faixa marginal do curso d'água)	Entre 20/07/89 e 26/05/12 (a contar do nível mais alto do curso d'água)	De 26/05/12 em Diante (a contar da borda do nível regular)
até 10	5	30	30	30
entre 10 e 50	metade da largura do curso d'água	50	50	50
entre 50 e 100	metade da largura do curso d'água	100	100	100
entre 100 e 150	metade da largura do curso d'água	150	100	100
entre 150 e 200	metade da largura do curso d'água	150	100	100
entre 200 e 600	100	igual a largura do curso d'água	200	500
superior a 600	100	igual a largura do curso d'água	500	-

Fonte: Lei Federal nº 12.651 (BRASIL, 2012)

Observa-se na Tabela 1, que a Lei 12.651(BRASIL, 2012) manteve o mesmo conceito dado para as APP's estabelecido no Código Florestal de 1965, considerando o caráter de preservação da área, independente de estar ou não coberta por vegetação nativa. Mantém ainda as funções ambientais, como a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da

estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como de promover o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e de assegurar o bem-estar das populações humanas. Porém, verifica-se alteração significativa ao estabelecer que as APP's de cursos d'água sejam contabilizadas da borda da calha do leito regular e não do seu nível mais alto. Desta forma, fica reduzida a proteção dos cursos d'água, pois a faixa ao longo deles é locada no que se entende ser o próprio corpo d'água, uma vez que o leito maior sazonal se caracteriza por ser o local onde as águas extravasam no período de cheias, correspondentes às planícies de inundação (Figura 1). Entretanto, o corpo d' água não pode ser entendido somente onde as águas correm na maior parte do tempo, tendo em vistas que o seu leito, sazonalmente, varia, em função das chuvas.

Figura 1 - Exemplo de APP locada a partir da borda da calha do leito regular de um rio



Fonte: ABES-SP, 2012

As planícies de inundação, situadas no leito maior sazonal ficaram vulneráveis, pois parte delas correspondia às APP's, ficando o restante da área sem nenhum tipo de proteção, como ocorria no Código Florestal de 1965, que as protegiam.

Ressalva-se que as planícies de inundação são ambientes extremamente importantes sob o aspecto da manutenção do equilíbrio da dinâmica do sistema hídrico, assim como do equilíbrio ecológico. São elas que dissipam as forças erosivas do escoamento superficial de águas pluviais, funcionando como importantes controladores de enchentes (ZAKIA, 1998; FRAZIER, 2010).

Para as áreas urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural que delimitem as áreas da faixa de passagem de inundação, devem ter sua largura determinada

pelos respectivos Planos Diretores e Leis de uso do solo, conforme os Conselhos Estaduais e Municipais de meio ambiente, sem prejuízo dos limites estabelecidos para a APP de cursos d'água.

Verifica-se assim, que o novo código florestal deixa lacunas graves, capazes de comprometer a capacidade de resiliência dos ambientes aquáticos. Dessa forma, quem desmatou e ocupou irregularmente áreas, até então consideradas de preservação permanente, agora não só será considerado regular como poderá continuar a ocupá-las, perpetuando os problemas ambientais que essas áreas estão produzindo. Assim, áreas que deveriam estar em processo de restauração, pelos motivos exaustivamente expostos e comprovados pela comunidade científica, permanecerão degradadas.

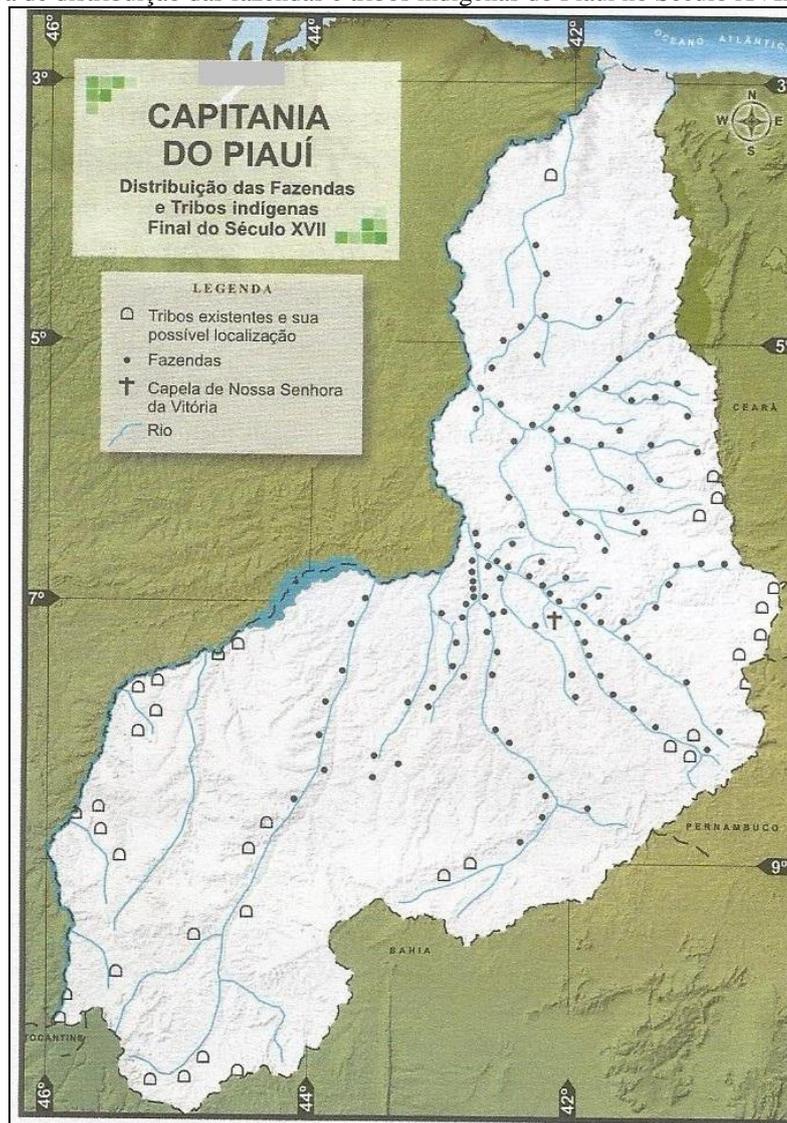
Pode-se dizer, portanto, que o atual Código Florestal tem hoje um caráter mais voltado aos interesses da produção do que da conservação e preservação dos recursos naturais que, no entanto, constituem os elementos essenciais para a própria produção.

Dessa forma o planejamento territorial em bacias hidrográficas e em áreas ribeirinhas, sobretudo, é um processo imprescindível ao desenvolvimento, sistematizado, organizado e sustentável, e por isso deve ser realizado levando em consideração os aspectos ambientais, sociais, econômicos e históricos existentes.

O conhecimento tradicional exerce um papel crucial na memória institucional das mudanças dos ecossistemas e as práticas de manejo que constroem a resiliência sócio-ecológica (Folke, 2002). Assim, torna-se necessário compreender a relação entre o conhecimento sócio-ecológico e as respostas que levam às mudanças ambientais, considerando o uso e manejo sustentável dos recursos, a diversidade biológica e os ecossistemas.

Num contexto histórico, as comunidades indígenas brasileiras caracterizam-se por se estabelecerem em locais próximos aos rios, utilizados como fonte de sobrevivência para as atividades de pesca, banho e locomoção. No Estado do Piauí a localização dos aldeamentos era fortemente influenciada pela disponibilidade de água, como forma de manter sua sobrevivência, conforme pode se observar na Figura 2 com a distribuição das fazendas e tribos indígenas (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Figura 2 - Mapa de distribuição das fazendas e tribos indígenas do Piauí no Século XVII



Fonte: Araújo *et al.* (2006)

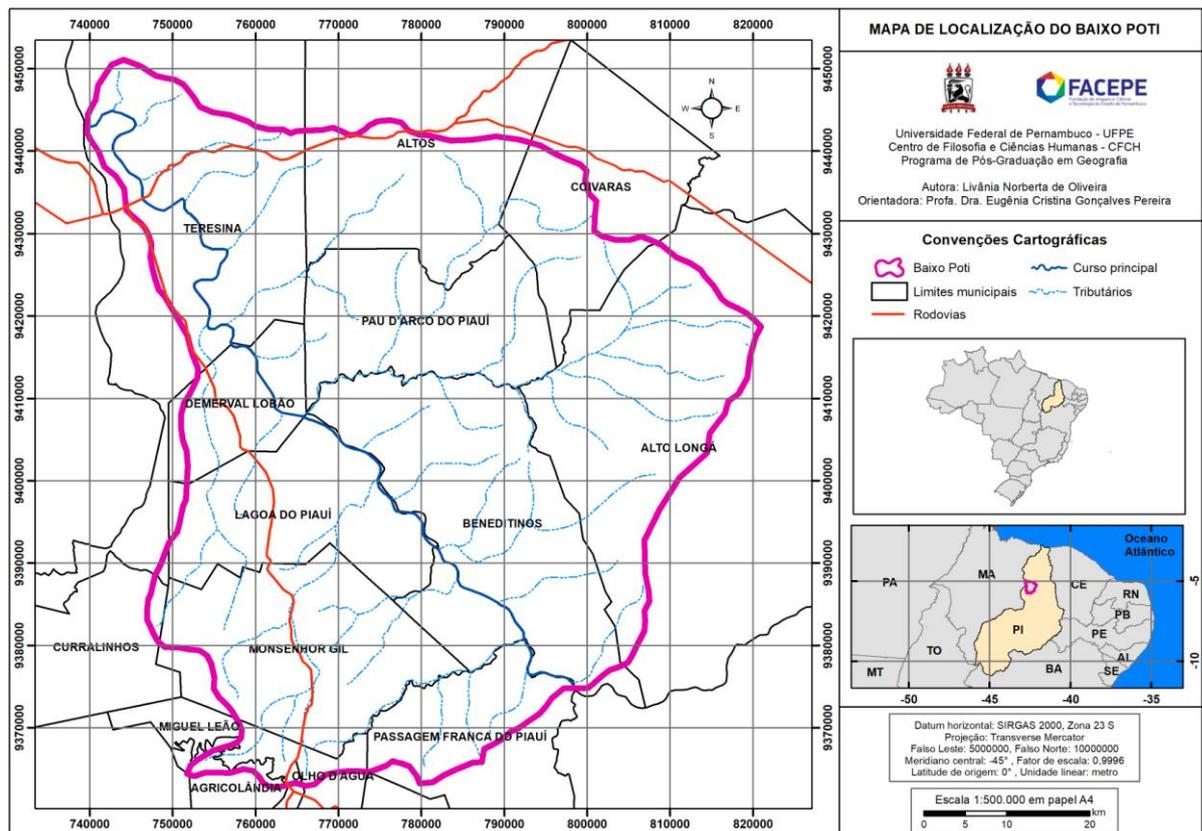
Observa-se na Figura 1 que as margens dos rios e seus tributários foram escolhidas para instalação das fazendas e tribos indígenas no Estado do Piauí, constatando assim a importância desse recurso para a manutenção das atividades desenvolvidas na época.

Durante o período imperial foram instalados vinte e dois municípios. Um desses foi o de Poti, cuja sede foi transferida para a chapada do Corisco, com o nome de Vila Nova do Poti. Essa vila depois foi elevada à categoria de cidade e capital do Piauí, recebendo o nome de Teresina, localizada em faixa de APP na confluência de dois importantes rios federais no Estado, o Poti e o Parnaíba (ARAÚJO *et al.*, 2006).

3 MÉTODOS, TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS

Para delimitação da área do baixo curso do rio Poti, com intuito de analisar a resiliência do ambiente, levou-se em consideração principalmente a drenagem do rio Poti do trecho em que se torna perene. A partir de visitas *in loco* constatou-se ser a área de aproximadamente 4.600 km², correspondendo a cerca de 11,30 % do total da bacia hidrográfica, trecho considerado a partir do município de Beneditino até a sua foz em Teresina, (Mapa 1).

Mapa 1 - Localização do baixo curso do rio Poti



Elaborado por: Oliveira, 2017

O método utilizado neste estudo foi de caráter descritivo e exploratório, tendo “por finalidade observar, registrar, analisar e correlacionar fenômenos ou fatos em um contexto [...]” (Silva, 2002, p.55). Portanto, nesta pesquisa realizada no baixo curso do rio Poti, desenvolveram-se ações a partir da obtenção de dados enfatizando os aspectos naturais e sociais que o compõem. Seu caráter exploratório se evidencia em virtude de sua proposta de

desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, permitindo ao pesquisador aumentar sua experiência em torno de determinado problema.

Utilizou, dessa forma, uma perspectiva metodológica qualitativa, por dar ênfase à situação de exploração dos recursos naturais na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti, em contraposição às obrigações associadas ao estado de comando e controle estabelecidos pela legislação ambiental. E, quantitativa, por determinar em dados numéricos a vulnerabilidade social da área de estudo e capacidade de resiliência do ambiente no decorrer do tempo.

3.1 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Na tentativa de compreender as relações entre sociedade e natureza, considerando o ser humano como um elemento do ambiente e que os impactos sociais interferem na dinâmica ambiental, foram utilizadas abordagens metodológicas que permitam uma apreensão concomitante e integral das variáveis naturais e socioeconômicas, no caso, o método sistêmico, utilizando-se da abordagem de Bertrand (1972), Tricart (1977), Christofolletti (1979), Vicente e Perez filho (2003) e Cunha *et al.* (2011).

O referencial teórico desta pesquisa fundamenta-se também no conceito de bacia hidrográfica analisado no modelo sistêmico dos componentes ambientais, usando como referência os trabalhos desenvolvidos por Bertrand (1972), Ross e Del Prette (1998), Ferreira & Ferreira (2003) e Hoque *et al.* (2012).

Segundo Ab' Saber (1989) o uso da bacia hidrográfica, unidade natural ecogeofisiográfica, possibilita uma visão sistêmica e integrada devido, sobretudo, à evidente delimitação e à natural interdependência de processos climáticos, hidrológicos, geológicos e ecológicos. Destaca, ainda, que sobre esses sistemas atuam forças antropogênicas, em que integra atividades e sistemas econômicos, sociais e biogeofísicos.

Nesta pesquisa, a análise integrada visa compreender a dinâmica do conjunto, desde as características do ambiente em estudo, associando as relações mútuas entre os componentes ambientais, utilizando os critérios de Tricart (1977) e de Vicente e Perez Filho (2003). Deve ser destacado o fato de que em todo o trabalho buscou-se fazer a adaptação das teorias às características socioambientais da bacia em estudo.

Tricart (1977) conceituou um sistema ambiental como sendo um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam

relações de dependência mútua entre os fenômenos. Assim, o sistema apresenta dinâmica própria como propriedade específica.

Na análise ambiental, inicialmente foi feito um breve levantamento a respeito dos diversos componentes, o que serviu para identificar os sistemas naturais contidos na bacia e, posteriormente, descrever os recursos naturais selecionados como indicadores para análise da resiliência na área de pesquisa.

No livro *Ecodinâmica*, Tricart (1977) trabalhou o conceito ecológico em quatro níveis: o da atmosfera; o da vegetação (fotossíntese, radiação absorvida pelas plantas; interceptação das precipitações e efeito da rugosidade da vegetação); o da superfície do solo e o da parte superior da litosfera. Já Christofolletti (1999) sugere a análise integrada de cinco módulos: demográfico, econômico, meio ambiente artificial, ecológico e intermediário (que determina a classificação do uso da terra). Segundo este autor, cada unidade pode reagir diferentemente em face dos impactos produzidos pela ocupação antrópica. Assim, admite-se que os tipos de solos, a declividade, a cobertura vegetal, a drenagem e as formas de uso da terra, são integradas por diversos componentes naturais que mantêm relações mútuas entre si e que são submetidos aos fluxos contínuos de matéria e de energia, onde cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural, sendo passível de delimitação com base em metodologia apropriada.

Dessa forma, no contexto da espacialidade, é importante que o planejamento ambiental seja baseado numa análise geográfica, por auxiliar na implantação da organização espacial. Assim, para conhecer a capacidade da estabilidade e resiliência do ambiente, torna-se importante identificar a intensidade e extensão dos impactos antropogenéticos podem ser absorvidas pelo ambiente.

Para definir a resiliência do ambiente, utilizaram-se como parâmetros as pesquisas desenvolvidas no contexto histórico desta temática, tendo como referência os estudos de Holling (1973), Hashimoto *et al.* (1982), Christofolletti (1999), Almeida (2010), Müller *et al.* (2010 ab), Burkhard *et al.* (2011) e Campos *et al.* (2013).

Para Christofolletti (1999) resiliência é a capacidade que tem o sistema de retornar as condições originais após sofrer distúrbios externos, sendo importante para analisar e avaliar a estabilidade dos sistemas, em termos de sua manutenção ou rápida recuperação após implantação dos efeitos perturbadores. Para o autor, a resiliência ao ser aplicada aos sistemas ambientais, determina a persistência das relações internas do sistema, refletindo sua capacidade de absorver mudanças, cujos resultados no processo de recuperação permitem certo grau de flutuações no estado de ajuste final em torno das condições iniciais. Afirma,

também, que em áreas sujeitas a fortes flutuações climáticas, como ocorre na região Nordeste do Brasil, as espécies podem sofrer uma diminuição, mas recuperam rapidamente, após distúrbios.

Segundo Müller *et al.* (2010 ab) e Burkhard *et al.* (2011), para os estudos sobre a avaliação da resiliência em ecossistemas, é necessário:

- Definir a escala temporal a ser aplicada (30 anos, 10 anos, 1 ano, etc.)
- Definir o sistema, identificando o grau de organização do ecossistema, o aspecto sócioecológico, a cadeia alimentar, etc.
- Identificar quais são os atributos estruturais na definição do sistema, a composição de espécies, constituintes do solo, demografia, etc.
- Identificar quais são os atributos funcionais da definição do sistema, tais como água, energia ou matéria, etc.
- Definir a escala espacial a ser aplicada (bacias hidrográficas, paisagem, ecossistema, etc.)
- Definir e quantificar os impactos a serem analisados (clima, uso da terra, poluição, invasões, etc.)

Assim, o estudo integrado dos sistemas ambientais deve levar em conta previsões em escalas temporais, além da descrição dos aspectos ambientais e espaciais no tocante ao planejamento físico regional. Para tanto, nesta pesquisa fez-se análise num período entre 1985 e 2015, com o propósito de averiguar a capacidade de recuperação dos recursos naturais no decorrer do tempo, somados aos aspectos antrópicos no baixo curso do rio Poti. Assim como, tentamos identificar os componentes constituintes do ambiente, relevantes na estratégia de recuperação do ambiente, correlacionando às causas e conseqüências da transformação e sua capacidade de resiliência.

Para Paton (2005), as pressões adaptativas do ambiente dependerão dos perigos existentes através das atividades desenvolvidas serem aptas aos recursos naturais existentes. Assim, compreender as capacidades adaptativas diante dos impactos existentes torna-se importante. Para tanto, é requerido um conhecimento detalhado dos recursos que compõem o ambiente em análise.

Dessa forma, para se chegar a um Índice de Resiliência Ambiental (IRA) fez-se análise de aspectos naturais como: níveis de declividade, aspectos e temperatura do solo como indicador de fertilidade, índice de vegetação e drenagem dos recursos hídricos do baixo curso da bacia do rio Poti, admitindo-se numa análise sistêmica que eles são integrados por diversos componentes naturais que mantêm relações mútuas e são submetidos aos fluxos contínuos de

matéria e energia. Para a avaliação da capacidade de resiliência do ambiente realizou-se a análise de cada indicativo, por reagir diferentemente em face dos impactos produzidos pela ocupação antrópica, possuindo capacidade adaptativa singular.

É cada vez mais reconhecido que muitos dos problemas sociais e econômicos no mundo não podem ser vistos como separados dos problemas ambientais (e vice-versa), e que a relação sociedade-natureza através do qual os seres humanos interagem com o meio ambiente deve ser abordada de forma integrada (Turner *et al.* 2003; Cutter, 2003; Cutter, 2011; Cunha *et al.*, 2011; Mendes *et al.*, 2011). Assim, para perceber o modo como a população está sensível às modificações ambientais, foi também elaborado o Índice Municipal de Vulnerabilidade Social (IMVS) com base nos indicadores sociais, por setor censitário do IBGE (2010), para os municípios que compõem a área de estudo.

3.2 COMPOSIÇÃO DO MÉTODO

O método assume o caráter de um estudo em campo (descritivo e de reconhecimento) e laboratório, numa perspectiva metodológica qualitativa e quantitativa, onde a ênfase é dada à situação de alteração e regressão dos aspectos ambientais no decorrer do tempo, a partir das formas de uso e ocupação do ambiente, em contraposição às obrigações associadas ao estado de comando e controle, estabelecido pela legislação ambiental brasileira, no baixo curso da bacia do rio Poti (BCRP).

A recolha de informação que constitui requisito fundamental para a elaboração do banco de dados que fundamentou a análise dos aspectos físicos e sociais organizou-se em torno de dois eixos: a pesquisa bibliográfica e documental (teses, livros, artigos, mapas, censos, anuários, relatórios, atlas, etc.), que foi a principal fonte de informações secundárias, e a pesquisa de campo.

3.2.1 Instrumentação técnica operacional

A escolha do método aplicado parte da avaliação de cada uma das etapas, as quais contemplaram conhecimentos específicos desde o levantamento de dados, utilização de mapeamentos, distribuição e análise dos dados analógicos disponíveis na área de estudo. Para alcançar a proposta, considerando a dimensão espacial da área, foi utilizado o geoprocessamento, fundamentalmente necessário na organização e inter-relação das informações.

Para elaboração de mapas e levantamento de dados, foram usadas várias ferramentas, como: imagens orbitais, mapas temáticos, mapas de localização da área de estudo, computador e *softwares* de geoprocessamento.

As legendas dos mapas de síntese foram previamente elaboradas com caráter preliminar e sucessivamente aperfeiçoadas, na medida em que progrediam as interpretações, conjugadas ao reconhecimento da realidade territorial por meio dos trabalhos de campo.

O trabalho de campo foi muito importante nesta pesquisa, servindo para tomar contato com a paisagem geográfica, considerando seus componentes históricos e, principalmente, os fixos e fluxos atuais, objetos e sujeitos das metamorfoses do tempo analisado. Permitiu, por outro lado, o reconhecimento das características socioambientais da área e, conseqüentemente, realizar uma melhor síntese dos resultados obtidos com a pesquisa documental e estatística. Para tanto, foram realizadas visitas *in loco* tanto na margem do rio Poti desde o Município de Beneditinos até Teresina, onde está a sua foz, como também de seus principais tributários, durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa em períodos de estiagem e chuvoso, entre os anos de 2014 e 2017, para analisar os aspectos ambientais da área.

Para melhor avaliar as condições do ambiente e sua capacidade de resiliência diante das interferências sofridas num intervalo de tempo, optou-se por fazer uma comparação em distintas fases, entre os anos de 1985 e 2015. Para este intervalo de tempo fez-se análise da variação da temperatura do solo, do regime pluviométrico e do índice de vegetação, associados às condições do relevo e declividade, por considerar relevante para avaliar a resiliência do ambiente na área em estudo.

A pesquisa documental compreendeu a coleta de séries estatísticas junto ao IBGE, de dados disponíveis sobre os diversos setores produtivos da bacia, sobretudo no que concerne à agropecuária, ao extrativismo, à produção primária e aos indicadores sociais, através do censo demográfico de 2010. Utilizou-se também o registro fotográfico para complementar a análise.

3.3 ETAPAS DO GEOPROCESSAMENTO E MATERIAL CARTOGRÁFICO

Uma fase importante para atingir os objetivos propostos é a do levantamento de documentos e dados cartográficos da área de pesquisa, que possibilitou a elaboração dos mapas necessários à identificação e análise dos recursos naturais. Para tanto, foram feitos levantamento de dados junto às instituições públicas e websites, como do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR-

PI), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Prefeituras dos municípios cujo território está inserido na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti.

O geoprocessamento possibilitou a constatação dos mecanismos de controle impostos aos elementos do sistema ambiental derivados de intervenções antrópicas diretas e indiretas, dando, portanto, respaldo à análise dos resultados.

A identificação dos alvos foi realizada por meio de análise visual das imagens. Considerou-se basicamente o padrão de resposta espectral caracterizado pelas diferentes tonalidades de cinza representativas dos valores radiométricos dos pontos elementares da imagem, denominados “pixel”, e na associação de cores pelos canais coloridos, estabelecendo, deste modo, as composições coloridas.

Destaca-se que as técnicas geoespaciais de sensoriamento remoto e o SIG são fundamentalmente necessários na organização e inter-relação das informações, além de favorecer uma análise mais rápida e de baixo custo para aplicações relevantes com precisão para o planejamento em bacias hidrográficas.

As etapas de desenvolvimento das atividades operativas do geoprocessamento partiram da organização em bases digitais com a sobreposição e complementação de dados por meio da interpretação das imagens e dos resultados das expedições de campo. Os elementos-chave utilizados na interpretação foram: a declividade do relevo, os tipos de solo, o índice de vegetação, a temperatura do solo e a rede hidrográfica. Esses elementos da paisagem e suas inter-relações são percebidos em virtude de uma visão integrada, alcançada por meio das composições multiespectrais coloridas que combinam três faixas do espectro eletromagnético.

A seleção e entrada de dados foram estabelecidas com base na triagem criteriosa daqueles a serem geocodificados em função do seu nível de importância para o estudo. Foi realizada a correção geométrica, de modo a unificar a base de dados nas escalas de trabalho apropriadas à pesquisa, considerando os limites da área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti.

Na manipulação e geração de mapas, foi feita a poligonalização dos dados, que consiste no reconhecimento das diferentes classes para cada tema trabalhado, em que, mediante os aplicativos de manipulação, foram obtidos dados quantitativos de área para as respectivas classes dos temas trabalhados.

Entre as técnicas quantitativas de análise de dados espacial, cita-se a geoestatística cujas técnicas permitem analisar adequadamente dados experimentais, com possibilidade de obter informações encobertas pela estatística clássica (RIBEIRO *et al.*, 2006).

3.3.1 Produção cartográfica

Para a geração dos dados cartográficos da bacia do baixo Poti, foram realizados diversos procedimentos operacionais a partir do *software* ArcMap 10.3, em sua versão gratuita de 60 dias. Os planos de informações foram processados em projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM, com *Datum* geodésico horizontal SIRGAS 2000, Zona 23 Sul. A escala de representação dos mapeamentos foi na grandeza de 1: 500.000.

Os dados de declividade foram obtidos de quatro cenas da imagem de radar do ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 m. As cenas foram baixadas gratuitamente no site da NASA *Alaska Satellite Facility* (ASF). O mapa de declividade seguiu os intervalos adotados pela Embrapa (1979). Para a interpretação pedológica utilizou-se, também, a classificação da EMBRAPA (2011).

O mapa de temperatura ao nível do solo foi obtido a partir das imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8 com a data do mês de agosto por apresentar melhor qualidade e corresponder aos objetivos propostos. Tais imagens também foram obtidas gratuitamente no site do INPE. Aqui foram utilizadas as bandas termais de cada satélite, que passaram por correções atmosféricas e de emissividade para a geração do mapa de temperatura estimada do solo.

Para analisar a cobertura vegetal a partir de uma captação orbital, foi utilizada a base de informação em modo raster dos satélites Landsat 5 e 8 para o respectivo período de 1985 e 2015, da órbita 219, ponto 64, retirada do earthexplorer.usgs.gov, com resolução espacial de 30 metros, obtida no período de agosto de 2017, com o tratamento na imagem no sistema *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), editando as imagens no *software* *Spring* e finalizando no *ArcMap* 10.3.

O NDVI numa tradução livre significa Índice de Diferença Normalizada de Vegetação. É um ótimo indicativo do estado da vegetação, porque leva em consideração a energia absorvida e a refletida da área, revelando a condição das estruturas celulares, tornado possível observar os pigmentos das folhas, tratadas na região do espectro visível, tendo em vista que, o infra-vermelho próximo (NIR) reflete a estrutura celular das plantas.

O NDVI foi desenvolvido pelas seguintes etapas, respectivamente: cálculo da radiância monocromática aparente, cálculo da reflectância aparente e, por último, a correção atmosférica. Os dois primeiros cálculos seguiram os algoritmos definidos por Markham & Barker (1986). Para a correção atmosférica foi utilizado o algoritmo MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance*). Para os cálculos foi utilizado o *software* SPRING 5.3, a partir do módulo de Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), e o *software* ENVI 4.8, a partir do módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*).

A radiância é compreendida como sendo a intensidade do brilho de um determinado alvo captada pelo sensor. A Equação 1, demonstra como ocorreu a mensuração e a transformação dos níveis de cinza em radiância:

$$NDVI = \left(\frac{L_{\max}(\lambda) - L_{\min}(\lambda)}{Q_{cal\max}} \right) Q_{cal} + L_{\min}(\lambda) \quad (1)$$

Onde:

$L_o(\lambda)$: Radiância espectral, cuja unidade é $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, $L_{\min}(\lambda)$ e $L_{\max}(\lambda)$ são os valores de radiância mínima e máxima detectadas pelo sensor em cada banda, ambas possuem a unidade em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$;

$Q_{cal\max}$: é o número digital máximo;

Q_{cal} : é o número digital a ser convertido.

Durante o tempo ativo da plataforma orbital, os valores das variáveis que permitem a calibração do sensor foram sendo reajustados e atualizados de tal forma que, nesta pesquisa, foram utilizados os coeficientes de calibração $L_{\min}(\lambda)$ e $L_{\max}(\lambda)$ propostos conforme a revisão de Chander & Markam (2003).

Para a determinação dos valores de reflectância aparente na imagem, foi utilizada a formulação proposta para o sensor *Thematic Mapper* (Equação 2). Os valores de radiância solar utilizados foram os propostos por Chander & Markam (2003).

$$\rho_a = \frac{\pi * L_o(\lambda) * d^2}{E_{sun}(\lambda) * \cos \theta} \quad (2)$$

Onde:

ρ_a : é a reflectância aparente,

d : é a distância Sol-Terra em unidades astronômicas;

E_{sun} : é a radiância solar que atinge o topo da atmosfera;

θ : é o ângulo solar zenital.

Esta etapa permitiu a transformação dos níveis digitais da imagem em valores físicos, bem como a utilização destes para a geração de novos dados a partir de algebrismo entre as bandas do mesmo sensor.

Após a conversão dos níveis digitais em reflectância bidirecional foram calculados os índices de vegetação (NDVI), segundo a fórmula proposta por Rouse *et al.* (1973), de acordo com a formulação de Huete (1988), a partir das bandas 3, faixa do vermelho (VER), e 4, faixa do infravermelho (NIR) próximo (Equação 3).

$$NDVI = \frac{NIR - VER}{NIR + VER} \quad (3)$$

A partir do diagnóstico setorizado dos componentes ambientais, fez-se uma análise integrada das variáveis, para determinar as classes do Índice de Resiliência Natural (IRN) com base nos aspectos de fragilidade detectados. Para alcançar essa integração, teve-se como subsídio as Geotecnologias que permitiram a geração, manipulação, compilação e integração dos dados da área de estudo, associados à visita de campo e ao levantamento cartográfico.

Destaca-se que o escoamento do rio Poti é do tipo semi-intermitente, assumindo um caráter permanente somente em seu baixo curso, a partir da cidade de Beneditinos, a jusante de dois tributários de escoamento intermitente: os rios Sambito e Berlengas. Diante dessas condições, esta pesquisa analisa o regime pluviométrico, tendo em vista a relevância desse recurso para a manutenção do ecossistema.

Dessa forma, optou-se por analisar a variabilidade sazonal de precipitação do rio Poti em seu baixo curso, para melhor avaliar a disponibilidade hídrica, a partir de uma série histórica entre os anos de 1980 e 2015, caracterizando a base deste comportamento para a sustentabilidade dos sistemas aquáticos e a resiliência do ambiente.

Para alcançar esse propósito, utilizaram-se dados anuais de precipitação, obtidos junto a ANA através do sistema Hidroweb, bem como junto à CPRM e ao INMET, empresas que realizam o monitoramento das estações pluviométricas localizadas na área do baixo curso da bacia do rio Poti que possuem dados para o período em análise (Tabela 2).

Tabela 2 - Localização das estações pluviométricas no baixo curso do rio Poti

Estação	Código	Nome da Estação	Município	Empresa	Latitude	Longitude
01	542008	Prata do Piauí	Prata do Piauí	CPRM	-05:51:30''	-042:26:07''
02	A312	Teresina	Teresina	INMET	-05°05'00''	-042°49'00''

Fonte: CPRM, 2016

Consideram-se relevantes as informações dos aspectos sociais para avaliar a capacidade de resiliência do ambiente. Diante disso, para avaliar a vulnerabilidade social e sua influência na resiliência do ambiente, utilizou-se o método desenvolvido por Cunha *et al.* (2011) para desenvolver o Índice Municipal de Vulnerabilidade Social (IMVS), com base nos dados do censo de 2010 por setor censitário dos municípios que compõem o BCRP. O tratamento dos dados foi feito no *software* SPSS, tendo os resultados da análise fatorial por componentes principais sido exportados para a ArcMap 10.3 a fim de projetar os resultados na sua componente espacial.

3.3.2 Uso da técnica da lógica *fuzzy* na avaliação da resiliência do ambiente

De acordo com Bonisch *et al.* (2004), a abordagem tradicional de estudo dos recursos naturais tem mudado, passando a adotar modelos quantitativos, técnicas de predição espacial e integração de dados em SIG, com o objetivo de compreender a distribuição de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço, o que constitui um grande desafio para solucionar questões centrais em diversos campos da ciência.

Destaca-se que há várias técnicas de inferência geográfica, como: booleana, média ponderada, lógica *fuzzy*, método análise multicritério por análise hierárquica de pares – AHP, redes bayesianas e redes neuronais, entre outras. Para análise da capacidade de resiliência do ambiente do BCRP optou-se por utilizar a lógica *fuzzy* por reduzir a propagação de erros nos modelos lógicos, proporcionando resultados mais confiáveis, se comparados a utilização da classificação booleana (BRESSAN *et al.*, 2006; PAULA e SOUZA, 2007; MEIRELLES *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2009, PINHEIRO, 2017). Conforme Meirelles *et al.* (2007), matematicamente o conjunto *fuzzy* é definido pela Equação 4:

$$A = \{(x, \mu_A(x))\}, x \in X \quad (4)$$

onde:

X = (x) referente ao universo de atributos;

$\mu_A(x)$ = função de pertinência;

Essa quantificação de pertencimento é fundamentada na possibilidade e não em probabilidade, sendo obtidos por funções de pertinência:

$$\mu_A(x) : X \rightarrow A : [0,1]$$

Esse processo diferencia a lógica *fuzzy* das outras técnicas, tendo em vista que o valor pode apresentar-se num intervalo de 0 a 1, e admitir a possibilidade de pertinência parcial, bem como a lógica clássica segue valores fixos, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Diferença entre a lógica booleana e a *fuzzy*



Fonte: Gomes e Rodrigues (2015) apud PINHEIRO, 2017

Para a ponderação e definição dos valores da função de pertinência *fuzzy*, foi utilizado o método AHP que consiste na lógica de comparação pareada desenvolvida por Saaty (1991). O valor de julgamento expressa a importância relativa entre os elementos que sintetizam o valor de membro funcional em uma escala de razões (MEIRELLES *et al.*, 2007; CORSEUIL e CAMPOS, 2007; RAMOS, CUNHA e CUNHA, 2014; PINHEIRO, 2017).

A matriz de comparação pareada, utiliza por base uma escala contínua de 9 pontos que indicam a importância relativa entre as variáveis, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Escala AHP de comparação par a par desenvolvida por Saaty

Intensidade de Importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante do que o outro
7	Importância demonstrada – o fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários de julgamento – possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: RAMOS, CUNHA e CUNHA (2014)

Com base nesta escala, é elaborada uma matriz de pesos para cada variável e calculada a Razão de Consistência (RC), que é a relação entre o índice de coerência (IC) e um índice de coerência aleatório (CA), e que indica se a razão estimada pela matriz é consistente ou aleatória (Tabela 3). Saaty (1991) apud Santos, Cunha e Cunha (2014) sugere que uma medida de boa consistência deve ser igual ou menor que 0,10 para ser considerada aceitável.

Tabela 3 - Valor CA com função da ordem Matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte- Saaty (1991) apud Ramos, Cunha e Cunha (2014)

Diante disso, os valores da função de pertinência *fuzzy*, foram determinados conforme a importância relativa de cada plano de informação e a relevância das classes consideradas. Assim, como existem diferentes variáveis que subsidiam a modelagem de um cenário, há a necessidade de ponderar e definir o grau de contribuição de cada tema na sinterização do modelo (MEIRELLES *et al.*, 2007; PINHEIRO, 2017).

Em resumo, o valor 1,0 expressa uma pertinência completa ao conjunto *fuzzy*, e essa pertinência vai diminuindo até 0,0, que significa não fazer mais parte do conjunto *fuzzy*; ou seja, o quão mais próximo o valor estiver de 1,0, maior é a possibilidade de o local pertencer ao conjunto especificado.

Destaca-se que o termo fuzzificação é definido como a conversão das entradas exatas (números reais) para o domínio *fuzzy*, ao conferir valores linguísticos (graus de pertinência), empregando funções de pertinência às variáveis de entrada (MEJIA SANCHEZ, 2009). Desta forma, os planos de informação com maior importância relativa tiveram seus valores fuzzificados, proporcionalmente, mais próximos de 1 através de uma compensação aplicada aos valores da função de pertinência.

Ratifica-se que cada plano de informação apresenta valores de pertinência diferenciados dentro do modelo. Assim, as Tabelas de 4 a 7 demonstram a importância relativa conferida para cada classe das variáveis usadas para o IRN. Para a ponderação das classes utilizaram-se valores empíricos já consolidados na literatura onde próximos de “0” significam classes menos frágeis e mais resilientes, já os próximos a “1” mais frágeis ambientalmente, ou seja, menos resilientes.

Tabela 4 - Importância relativa das classes de declividade através do método AHP de Saaty

Classe	Importância relativa (AHP)
0-3 %	0,02
3-8 %	0,05
8-20 %	0,11
20-45 %	0,18
45-75 %	0,24
>75 %	0,40

RC: 0,062

Fonte: Autor (2017) com base em EMBRAPA (1997)

Tabela 5 - Importância relativa às classes de temperatura do solo através do método AHP de Saaty

Temperatura do solo (°C)	Importância relativa (AHP)
6-20	0,03
20,1-25	0,04
25,1-30	0,07
30,1-35	0,14
35,1-40	0,26
40,1-45	0,46

RC: 0,061

Fonte: Autor (2017)

Tabela 6 - Importância relativa às classes do NDVI através do método AHP de Saaty

NDVI	Importância relativa (AHP)
Corpo Hídrico	0,06
Vegetação densa	0,07
Vegetação Intermediária	0,10
Vegetação Aberta	0,27
Solo Exposto	0,57

RC: 0,078

Fonte: Autor (2017)

Tabela 7 - Importância relativa às classes do solo através do método AHP de Saaty

Classificação	Importância relativa (AHP)
Plintossolo Pétrico Concrecionário	0,03
Plintossolo Argilúvico Distrófico	0,06
Latossolo Amarelo Distrófico	0,13
Neossolo Fluvico Eutrófico	0,26
Neossolo Litólico Distrófico	0,51

RC: 0,061

Fonte: Autor(2017) com base em Ross (1994); EMBRAPA (2014);

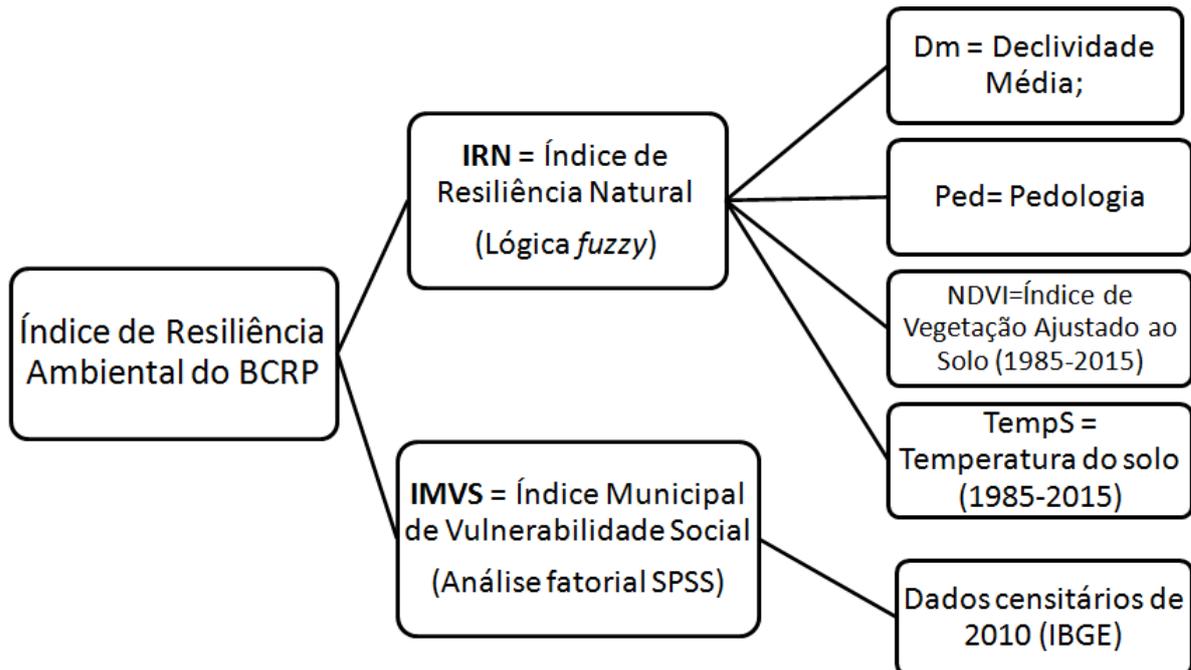
Com todos os planos de informações “fuzzificados” foi possível fazer a manipulação das variáveis. A integração ocorreu através da utilização do operador de Soma Algébrica *Fuzzy* do *ArcMap* 10.3.

Dessa forma, observa-se que as regras de combinação são mais flexíveis no método *fuzzy*, o que proporciona um melhoramento na natureza linear de modelagem, fazendo desse método uma opção na representação dos parâmetros de forma integrada e, conseqüentemente, uma forma mais apropriada para se modelar o ambiente a partir da análise integrada dos seus recursos (MEIRELLES *et al.*, 2007), sendo relevante sua aplicação na avaliação da capacidade de resiliência do ambiente, conforme os objetivos propostos nesta pesquisa.

3.4 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE

A Figura 4 mostra o fluxograma com as etapas percorridas para avaliar a resiliência ambiental do BCRP, a partir da análise integrada dos recursos ambientais e dos aspectos socioeconômicos.

Figura 4 - Fluxograma esquemático da resiliência ambiental do baixo curso do rio Poti.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para a aplicação do Índice de Resiliência Natural (IRN), foram considerados os atributos da declividade média, da pedologia, da temperatura do solo e pelo índice de vegetação-NDVI (Equação 5), através da aplicação da lógica *fuzzy*, proporcionando identificar a resiliência natural do BCRP em 1985 e 2015. Essa etapa é de fundamental importância para compreender a dinâmica natural do ambiente através dos atributos articulados.

$$IRN = (Dm \cdot i + Ped \cdot i + TempS \cdot i + NDVI \cdot i) \quad (5)$$

Onde:

IRN = Índice de Resiliência Natural;

i = Importância relativa AHP da variável

Dm = Declividade Média;

Ped= Pedologia;

TempS = Temperatura do solo;

NDVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

Os pesos das variáveis foram adquiridos considerando a importância relativa para a definição da resiliência natural com o auxílio da técnica AHP (Tabela 8) que consiste, na lógica de comparação pareada (MEIRELLES *et al.*, 2007; PINHEIRO, 2017). Para tal, baseou-se no conhecimento empírico já existente desenvolvido por Massa e Ross (2012); Bispo *et al.* (2011); Spörl e Ross (2004) e Ross (1994), a respeito das fragilidades dos ambientes.

Tabela 8 - Importância relativa (AHP) das variáveis ambientais utilizadas para avaliar a resiliência natural no BCRP

Variável ambiental	Importância relativa (AHP)
Temperatura do solo	0,05
Declividade	0,11
Pedologia	0,24
NDVI	0,60

RC:0,036

Fonte: Autor (2017), com base em Saaty (1991) apud Ramos, Cunha & Cunha (2014)

Após os cruzamentos dos dados foi gerada uma imagem monocromática em formato *Tagged Image File Format*, que posteriormente foi classificada utilizando cinco intervalos para avaliar a capacidade de resiliência natural do ambiente, diante das formas de uso e alterações nos anos de 1985 e 2015.

A partir daí realizou-se uma álgebra de mapas com o efeito dos anos de 1985 e 2015, correlacionando os valores de cada camada, resultando no Índice de Resiliência Natural do BCRP e na identificação das áreas que evoluíram de forma negativa e positiva.

Por considerar importante a cartografia da vulnerabilidade social nas políticas de gestão e ordenamento territorial, nesta pesquisa foi elaborado o Índice Municipal de Vulnerabilidade Social (IMVS), conforme a metodologia desenvolvida por Cunha *et al.* (2011), que integra a criticidade das populações com a capacidade de suporte do sistema territorial para cada sector censitário. Este índice foi elaborado utilizando o *software* SPSS, com base na análise fatorial das componentes principais (ACP) de um conjunto de variáveis demográficas, ambientais, sociais e culturais da população e do seu edificado, por sector censitário que compõe a área do BCRP, do censo demográfico de 2010.

A análise fatorial consiste num conjunto de técnicas do campo da estatística multivariada que busca a identificação de semelhanças entre um número determinado de variáveis com o propósito de explicar a sua estrutura. O resumo dos dados utilizando essa técnica se dá por meio da identificação das comunalidades das variáveis de interesse e das suas correlações. Assim são determinadas quais variáveis são semelhantes entre si, em que medida e o quanto cada um dos fatores identificados explica a variância do modelo criado, culminando na obtenção dos *scores* fatoriais que consistem nos valores transformados das variáveis inicialmente inseridas no processo fatorial (Martinez & Ferreira, 2010).

A comunalidade é definida como a quantidade total de variância que uma variável original compartilha com todas as outras incluídas na análise (HAIR *et al.*, 2006; PESTANA e GAGEIRO, 2014). A análise das comunalidades é importante, pois demonstra o quanto da variância explicada de cada uma das variáveis está contida no modelo fatorial gerado, pelo qual quanto maior o valor das comunalidades, maior é o poder de explicação da referida variável pelo fator.

Nesta pesquisa considera-se útil a ACP por permitir eliminar do universo em análise as variáveis redundantes e agrupar as restantes em diferentes fatores (CUNHA *et al.*, 2011). Trata-se de uma metodologia cuja elaboração é desenvolvida com base nas seguintes etapas:

- (I) Normalização das variáveis a partir dos denominados *z-scores*, cuja média é zero e o desvio-padrão é 1;
- (II) Execução da análise fatorial no SPSS (versão 17, no caso da nossa pesquisa);
- (III) Avaliação da matriz de correlação dos dados, no sentido de eliminar do universo em análise os dados redundantes (análise da multicolineariedade);
- (IV) Após a exclusão dos dados redundantes, executa-se novamente a análise fatorial até atingir determinados parâmetros considerados necessários para que os resultados sejam considerados válidos. Foi utilizada desses parâmetros uma taxa de variância superior a 60%, com valor de KMO (*Kaiser - Meyer - Olkin*) e de níveis de comunalidades superiores a 0,5. O teste KMO consiste em um critério estatístico para atestar a adequabilidade de um modelo de análise fatorial realizando testes de consistência geral dos dados e variáveis incluídos no modelo. Varia entre 0 e 1 e compara as correlações de ordem zero com as correlações parciais observadas entre as variáveis. Os valores de KMO próximos de 1 demonstram coeficientes de correlação parciais pequenos, enquanto valores próximos de 0 indicam coeficientes de correlações parciais grandes indicando que a análise fatorial exploratória pode não ser aplicável ao modelo em questão (Pestana & Gageiro, 2014).

(V) Interpretação e escalamento dos fatores resultantes, no modo como estes influenciam a vulnerabilidade social. Uma vez que os valores nem sempre apresentam a orientação desejada, torna-se necessário escalar os índices parcelares no sentido de que quanto mais elevado o resultado final da equação, maior será a vulnerabilidade social do espaço. Neste sentido, no caso de os *scores* fatoriais de variáveis que contribuem para diminuir a vulnerabilidade apresentarem uma orientação positiva, será necessária a sua multiplicação por -1 .

(VI) Combinação dos *scores* fatoriais resultantes da análise num único valor, o que significa que cada unidade geográfica vai ter um determinado valor, em termos de criticidade ou capacidade de suporte;

(VII) Exportação dos dados do SPSS para o ArcMap 10.3, a fim de projetar os resultados na sua componente espacial. A união entre a tabela exportada do SPSS e a tabela do ArcMap é elaborada através do código de cada setor censitário pelo IBGE (2011);

(VIII) Classificação dos resultados finais da equação de avaliação do IMVS com base nos critérios usados por Cutter *et al.* (2003).

Destaca-se que a área do BCRP é composta por 11 municípios que incluem, no censo de 2010, 1.252 setores, e que serviram como base para a coleta dos dados amostrais disponíveis, incluindo as áreas urbanas e rurais, de diferentes usos, as construídas e com ocupação humana, bem como as que ainda não são construídas e nem ocupadas.

Na sequência, com base nos trabalhos apresentados por Cutter (2003 e 2011) e por Cunha *et al.* (2011), a vulnerabilidade social foi determinada através de análise fatorial, utilizando para o efeito o *software* de análise estatística SPSS. Partimos de um conjunto de 79 variáveis do censo demográfico de 2010, organizadas em sete grupos: educação, domicílios, gênero, morador, etnia, renda e idade, das quais 35 foram mantidas após a realização de um teste de colinearidade, onde resultaram 10 fatores explicativos da vulnerabilidade social.

Destaca-se que as variáveis importantes para manter na análise fatorial são aquelas que têm menor correlação linear entre si. Estas variáveis devem também ter valores elevados nos pesos e nas comunalidade (Pestana e Gageiro, 2014). As comunalidades indicam qual a influência que os fatores latentes extraídos têm sob cada uma das variáveis incluídas sendo, portanto, um índice que varia entre 0 e 1 (Martinez & Ferreira, 2010).

Assim, o exame das comunalidades demonstra quanto da variância explicada de cada uma das variáveis está contido no modelo fatorial gerado. Quanto maior o valor das comunalidades maior é o poder de explicação da referida variável pelo fator. Uma verificação dos valores de comunalidades obtidos mostrou que 35 variáveis válidas apresentaram valor de

comunalidade, conforme estabelecido pelos critérios da pesquisa, acima de 0,5, ou seja, a inclusão de variáveis que possuam um mínimo de 50% de explicação da variância obtida pelos fatores extraídos (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de comunalidades obtidas para as variáveis do IMVS

Comunalidade	Extração
% domicílio particular c/abst.água por poço ou nascente	0,635
% domicílio particular c/banheiro	0,861
% domicílio particular c/banheiro e esgotamento via rede geral	0,725
% domicílio particular c/banheiro e esgotamento via fossa séptica	0,950
% domicílio particular c/banheiro e esgotamento via fossa rudimentar	0,910
% domicílio particular c/banheiro e esgotamento via rio	0,780
% domicílio particular c/lixo queimado na propriedade	0,863
% domicílio particular c/lixo jogado no rio	0,799
% domicílio particular c/energia elétrica	0,425
% domicílio particular quitado	0,801
% domicílio particular com logradouro	0,742
% domicílio particular c/esgoto a céu aberto	0,805
% domicílio particular s/banheiro e esgotamento sanitário	0,803
% domicílio particular c/coleta de lixo	0,885
% domicílio particular alugado	0,769
% moradores/área	0,988
Média de moradores/ domicílio particular	0,935
% moradores em domicílio cedido	0,646
% pessoas da cor preta	0,561
% moradores em domicílio tipo casa	0,779
% pessoas responsável/ domicílio com renda de 1-2 salário	0,626
% pessoa responsável/ domicílio com renda de 5-10 salário	0,834
% pessoas de 15-64 anos	0,752
% mulheres/ domicílio particular	0,751
% mulher de 15-64 anos	0,879
% responsável por domicílio mulher	0,965
% responsável por domicílio homem	0,950
% responsável alfabetizado homem	0,924
% morador em domicílio part. não quitado	0,579
% moradores em domicílio part. alugado	0,776
% responsável por domicílio com renda até 1 salário	0,599
% pessoa de 0-4 anos	0,692
% pessoa com +65 anos	0,737
% pessoas alfabetizadas	0,919
% domicílio /área	0,988

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após serem determinados os limiares e valores utilizados para as estatísticas dos critérios de validação da análise fatorial, observou-se a tabela de variância explicada para que fossem decididos o número de fatores a serem retidos.

Cabe destacar que os valores numéricos obtidos pelo modelo fatorial, por si só não possuem significado próprio, pelo que se faz necessário a sua interpretação de acordo com os propósitos da pesquisa. Nesse sentido, os fatores identificados foram classificados nos termos de sua contribuição, sendo considerados como fatores positivos quando contribuem para

reduzir a vulnerabilidade social e considerada como negativos quando contribuem para aumentar a vulnerabilidade social. Esse procedimento foi realizado para todas as variáveis válidas utilizadas. O Quadro 2 apresenta o raciocínio para o estabelecimento da contribuição de cada fator observado para a vulnerabilidade social no BCRP.

Quadro 2 - Contribuição dos fatores para avaliar a vulnerabilidade social do BCRP

Fator	Contribuição final para vulnerabilidade
Fator 1	Negativa
Fator 2	Negativa
Fator 3	Positiva
Fator 4	Negativa
Fator 5	Positiva
Fator 6	Negativa
Fator 7	Positiva
Fator 8	Negativa
Fator 9	Positiva
Fator 10	Negativa

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A classificação dos fatores latentes identificados para a vulnerabilidade social do BCRP mostrou que os fatores 1, 2, 4, 6, 8 e 10 apresentaram contribuição negativa, ou seja, consistem nas variáveis que aumentam a vulnerabilidade para os setores censitários que representam, enquanto os demais fatores apresentaram contribuição positiva.

Nesta pesquisa decidiu-se por calcular as dimensões da vulnerabilidade social por meio da utilização da técnica da soma ponderada (CUNHA *et al.*, 2011), tendo em vista que, nesse procedimento são considerados os diferentes aspectos dos fatores latentes obtidos, bem como as suas particularidades. Desse modo, o cálculo de cada uma das dimensões para cada unidade de análise da área de estudo foi determinado por meio da Equação 6. As contribuições quando positivas equivalem a “1” e quando negativas, equivalem a “-1”.

$$D=(Cf1*F1x1*Vf1) +... (Cfn*Fnxn*Vfn) \quad (6)$$

Onde:

D = Dimensão da vulnerabilidade

Cf = Contribuição do Fator ¹⁰

F = Valor do fator para cada unidade de análise

V = Percentagem de variância explicada de cada fator obtido

Os *scores* nos diferentes fatores para cada setor censitário foram exportados para o *software* ArcMap, 10.3, o que permitiu a atribuição de um resultado final do IMVS para cada

setor censitário estatística e a sua cartografia após uma classificação empírica dos resultados entre muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Para elaborar o Índice de Resiliência Ambiental (IRA), fez-se uma combinação numérica dos resultados do IRN e do IMVS (Tabela 10) conforme metodologia de (CUNHA *et al.*, 2011 e MENDES *et al.*, 2011).

Tabela 10 - Comparação numérica dos valores do IRN e do IMVS

IMVS/IRA	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

	MUITO BAIXA
	BAIXA
	MODERADA
	ALTA
	MUITO ALTA

Fonte: Cunha *et al.* (2011); Mendes *et al.* (2011).

Após os cruzamentos dos dados foi gerado um mapa com cinco classes de muito alta a muito baixa, utilizando intervalos equidistantes para avaliar a capacidade de resiliência do ambiente, diante das vulnerabilidades socioambientais existentes. Para interpretação da resiliência ambiental considerou a classificação de alta a muito alta como progressiva e a classificação de baixa a muito baixa como regressiva, conforme as observações na área (Quadro 3).

Quadro 3 - classificação do Índice de Resiliência Ambiental

Classificação da Resiliência Ambiental	Interpretação	Observação do ambiente
Muito alta ↑ Alta	Progressiva	Quando há condição do ambiente se recompor, diante das pressões sofridas pelo ser humano ou não no decorrer do tempo analisado
Moderada		Quando os processos morfogenéticos e pedogenéticos encontram-se conservados no decorrer do tempo analisado
Baixa ↓ Muito baixa	Regressiva	Quando há pouca ou nenhuma condição do ambiente se recompor, em consequência das pressões sofridas no decorrer do tempo.

Fonte: Oliveira (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

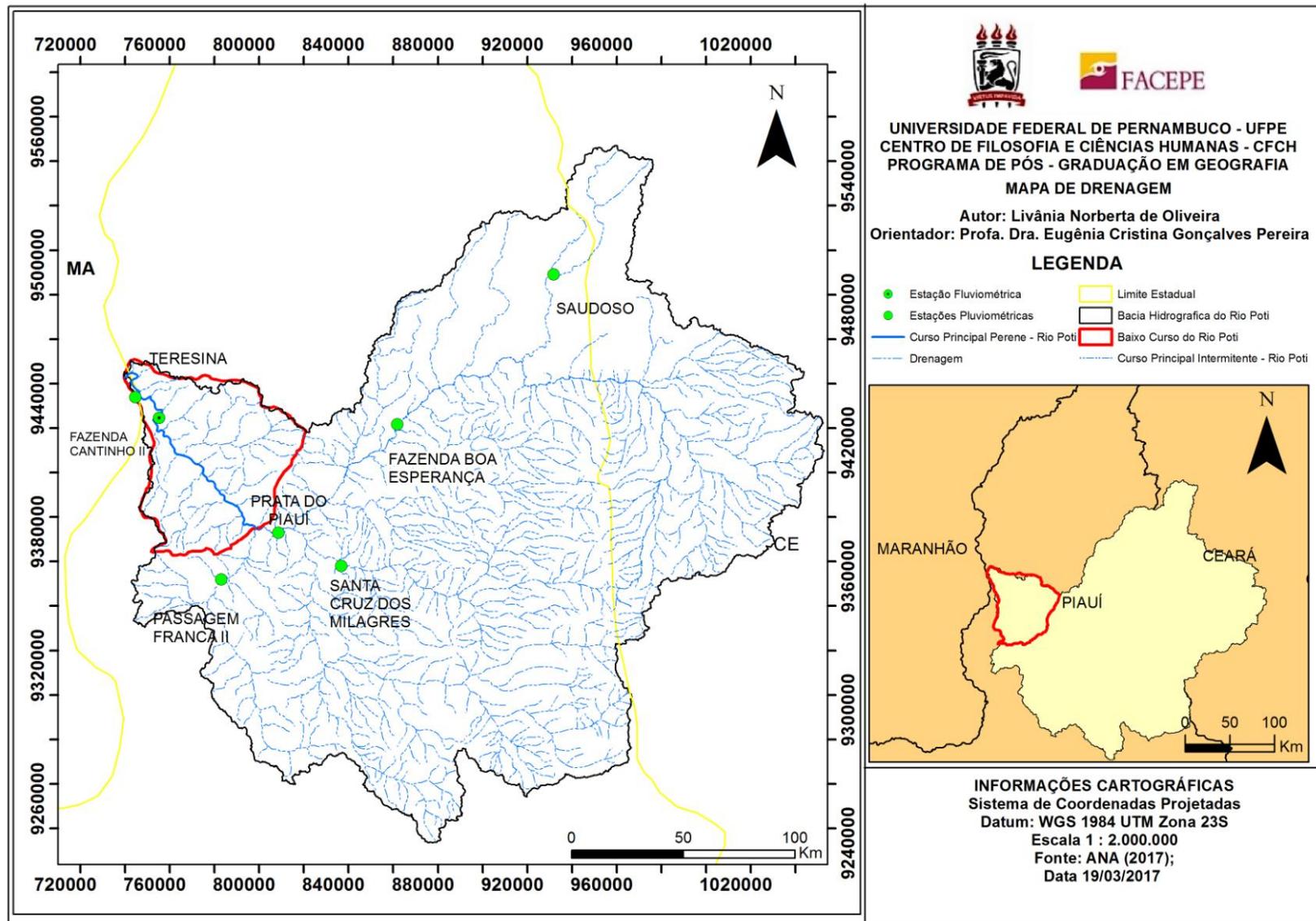
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI

4.1.1 Aspectos geoambientais

A bacia hidrográfica do rio Poti abrange os Estados do Ceará e do Piauí, Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 4°06' e 6°56' de latitude Sul, e entre 40°00' e 42°50' de longitude a Oeste de Greenwich, apresentando uma extensão total aproximada de 52.270 km². No entanto, quase sua totalidade está inserida no Estado do Piauí onde apresenta 38.797 km² de extensão (SEMAR, 2010).

O rio Poti possui drenagem do tipo semi-intermitente. Destaca-se que, em estudos anteriores como o de Rivas (1996) e Lima (1982), foi identificada a perenidade deste rio no baixo curso a partir da cidade de Prata do Piauí. Entretanto, nas visitas *in loco*, observou-se que o rio Poti assume um caráter permanente somente a partir do Município de Beneditinos, que se localiza na porção centro-norte do Estado do Piauí (Mapa 2), delimitando assim a área de estudo desta pesquisa a partir deste trecho, por melhor corresponder aos objetivos propostos.

Mapa 2 - Localização do baixo curso e drenagem da bacia hidrográfica do rio Poti

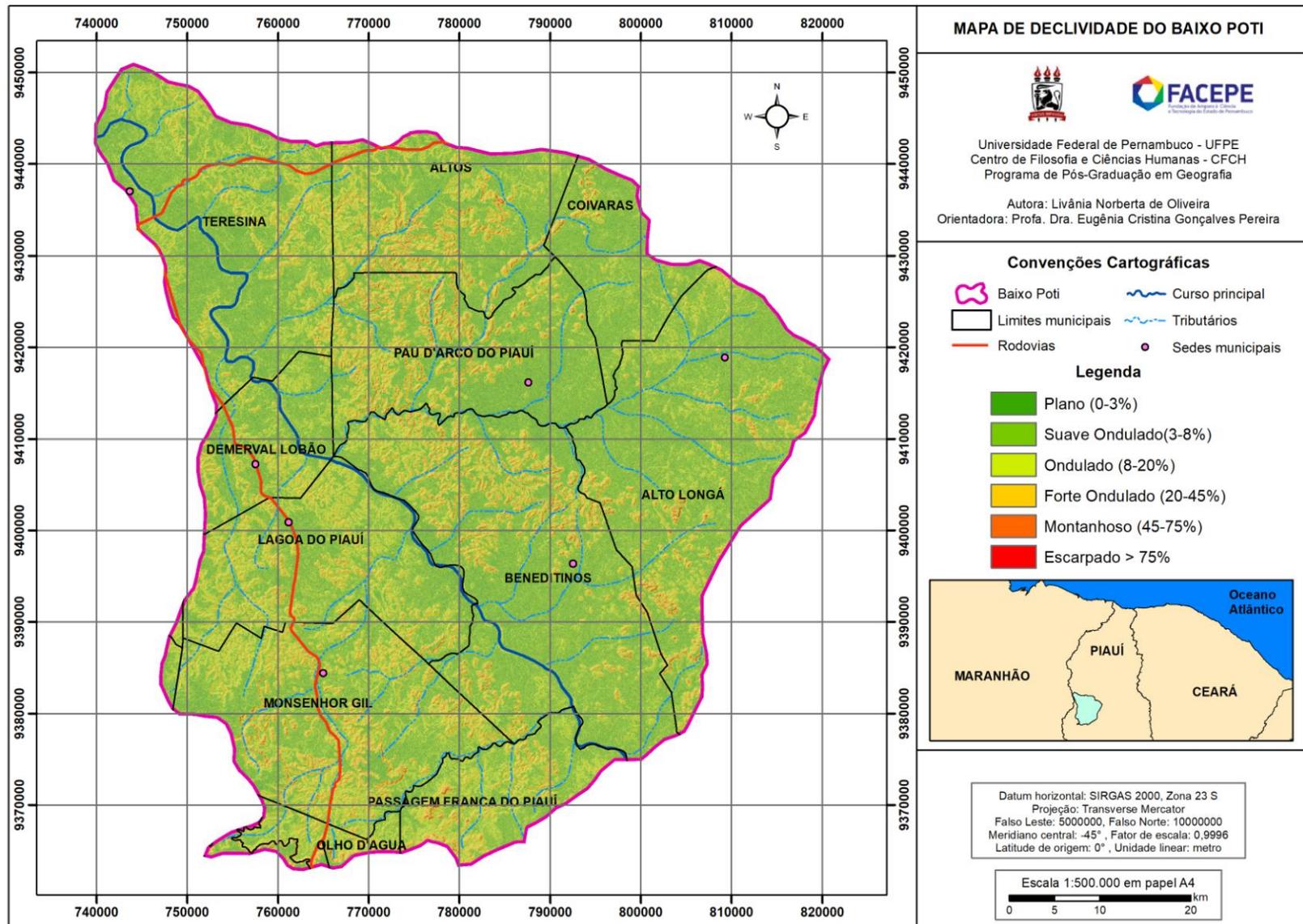


Elaborado por: Oliveira (2017)

O curso do rio Poti possui direção definida pela estrutura geológica, encaixando-se em fraturas e falhas regionais. Sua cabeceira encontra-se nos contrafortes orientais do Planalto da Ibiapaba no Estado do Ceará, numa altitude aproximada de 600 metros. O baixo e médio curso da sua bacia, constitui-se de rochas sedimentares, cujas formações são dispostas sucessiva e paralelamente, em camadas sub-horizontais para o interior da bacia sedimentar do Parnaíba (LIMA e AUGUSTIN, 2014).

Quanto ao relevo do baixo curso da bacia, se caracteriza por ser do tipo ondulado a suave ondulado, apresentando predomínio da declividade de 3 a 20% (Mapa 3). Ao pesquisar a morfodinâmica do baixo curso do rio Poti, Lima e Augustin (2014) verificaram que em decorrência das características de declividade, o rio Poti em alguns trechos apresenta maior velocidade que em outros, devido à resistência litológica em alguns segmentos serem superior à sua capacidade de desgaste. Destacam também, que o rio em alguns trechos apresenta maior desgaste por conta de fluxo temporário com as chuvas concentradas, de tal modo que o leito tende a aprofundar com o aumento da vazão. Por isso, é grande a quantidade de bancos de sedimentos aluviais encontrados ao longo de seu curso, os quais testemunham esse processo.

Mapa 3 - Declividade do baixo curso do rio Poti



Elaborado por: Oliveira (2017).

Quanto à estrutura geomorfológica no baixo curso da bacia do rio Poti é caracterizada por ser do tipo aplainada degradada, com predomínio de superfícies aplainadas conservadas, com altimetria variando entre 100 e 200 metros. As formas modeladas se apresentam com encostas retilíneas e topos horizontais, ocorrendo ora agrupadas, ora isoladas.

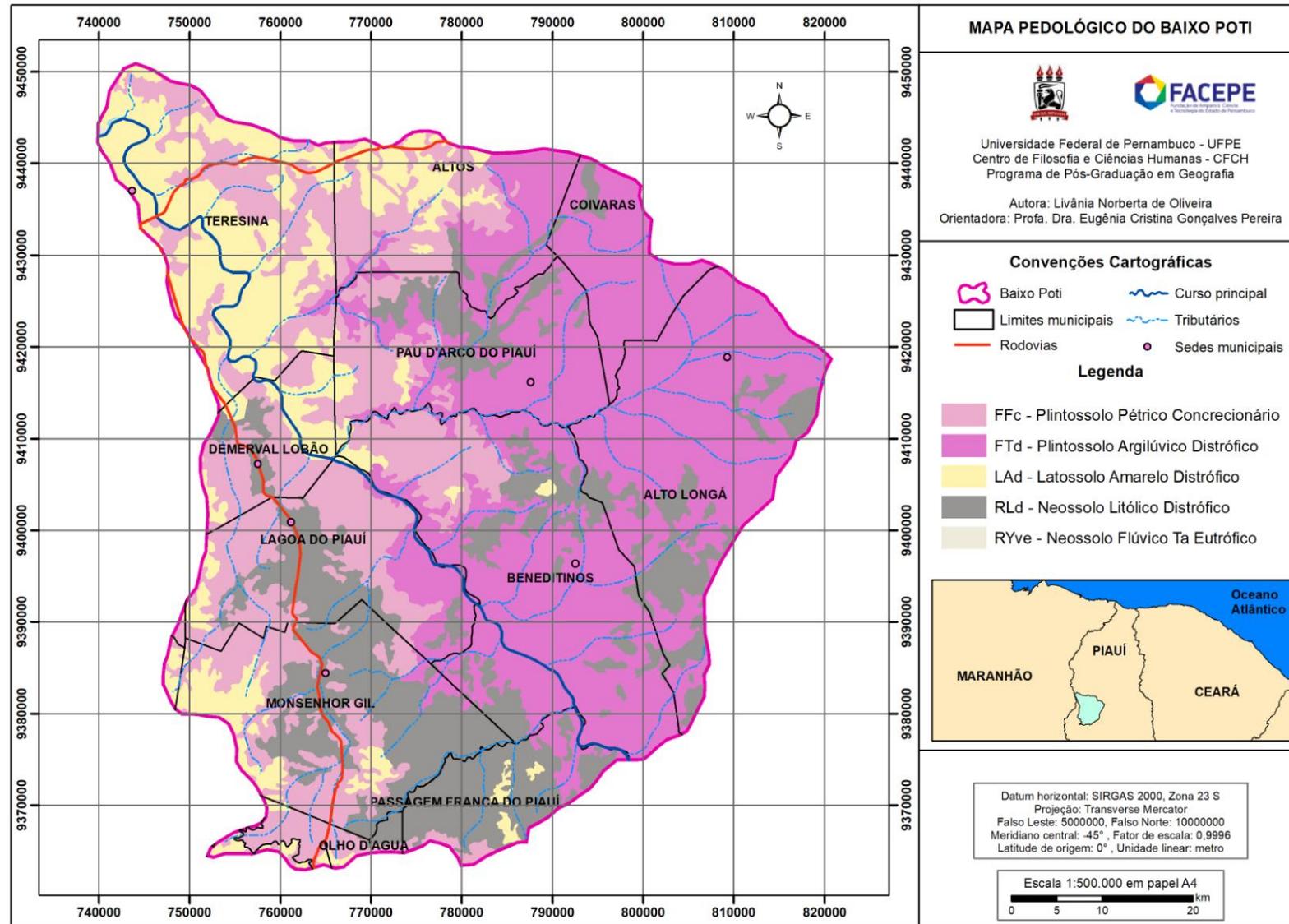
Destaca-se que nestas unidades geomorfológicas estão presentes aquíferos porosos de alta capacidade armazenadora e circuladora de água nas camadas arenosas. Muitas vezes constituem aquíferos confinados pelas intercalações dos horizontes argilosos presentes nessa unidade e/ou pelas formações sobrepostas de outras unidades impermeáveis e semipermeáveis (CPRM, 2010).

4.1.1.1 Solos

Para diferir e classificar os solos de uma determinada área são utilizados os levantamentos pedológicos, que consistem no fornecimento de informações relacionadas à natureza dos solos, suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e distribuição geográfica. Somente dessa forma será possível diagnosticar práticas de manejo adequadas para cada um deles (CORDEIRO *et al.*, 2011).

No baixo curso do rio Poti, conforme a EMBRAPA (2010), verifica-se o predomínio de solos do tipo Plintossolo Argilúvio distrófico (38%), com maior presença no setor SE-N, entre os Municípios de Beneditinos e Altos. Seguido do tipo Plintossolos Pétricos concrecionários (25%) presente de SO-NO entre os Municípios de Miguel Leão à Teresina (Mapa 4).

Mapa 4 - Pedologia do baixo curso do rio Poti



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Entre os municípios de Beneditinos e Coivaras verificou-se que o Plintossolo é utilizado principalmente como recurso para a construção civil, visto ter potencial de médio a baixo para agricultura (EMBRAPA, 2014). Isto se atribui à baixa fertilidade natural, pedregosidade e indisponibilidade de água quando concrecionário (CHAVES *et al.*, 2009).

No baixo curso do rio Poti, o Neossolos Litólicos representa 20% da área, é predominante entre os Municípios de Lagoa do Piauí e Passagem Franca do Piauí, com presença também nos municípios de Beneditinos, Alto Longá, Pau D'arco do Piauí e Demerval Lobão. Sendo utilizado como substrato para pastagem natural e cultivos de subsistência em áreas planas, por ter alta fertilidade natural, quando derivados de rochas básicas e/ou de calcários (EMBRAPA, 2014).

Na área de estudo, o Latossolo amarelo corresponde a 15% da área, é predominante no município de Teresina. Está associado aos relevos plano, favorável à mecanização agrícola, entretanto, o de nível distrófico apresenta baixa fertilidade, e quando em estado de baixa umidade ou seco é muito duro ou extremamente duro, além de ser muito profundo e uniforme nos aspectos de cor, textura e profundidade (EMBRAPA, 2014).

Os Neossolos Flúvicos Eutróficos ocorrem nos ambientes de várzeas, planícies fluviais e terraços aluvionares. Por serem solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos (EMBRAPA, 2014) no município de Teresina, são muito explorados na área próxima à foz do rio Poti para produção de artesanato (Figura 5), bem como para atividades agrícolas e pastagens, por serem bem desenvolvidos e drenados. Entretanto, tende a ser mais suscetível aos processos erosivos devido à relação textural, o que exige práticas conservacionistas no seu manejo para o controle da erosão.

Figura 5- Artesanato feito com argila extraída na margem do rio Poti em Teresina-Piauí



Fonte: Autor (2014)

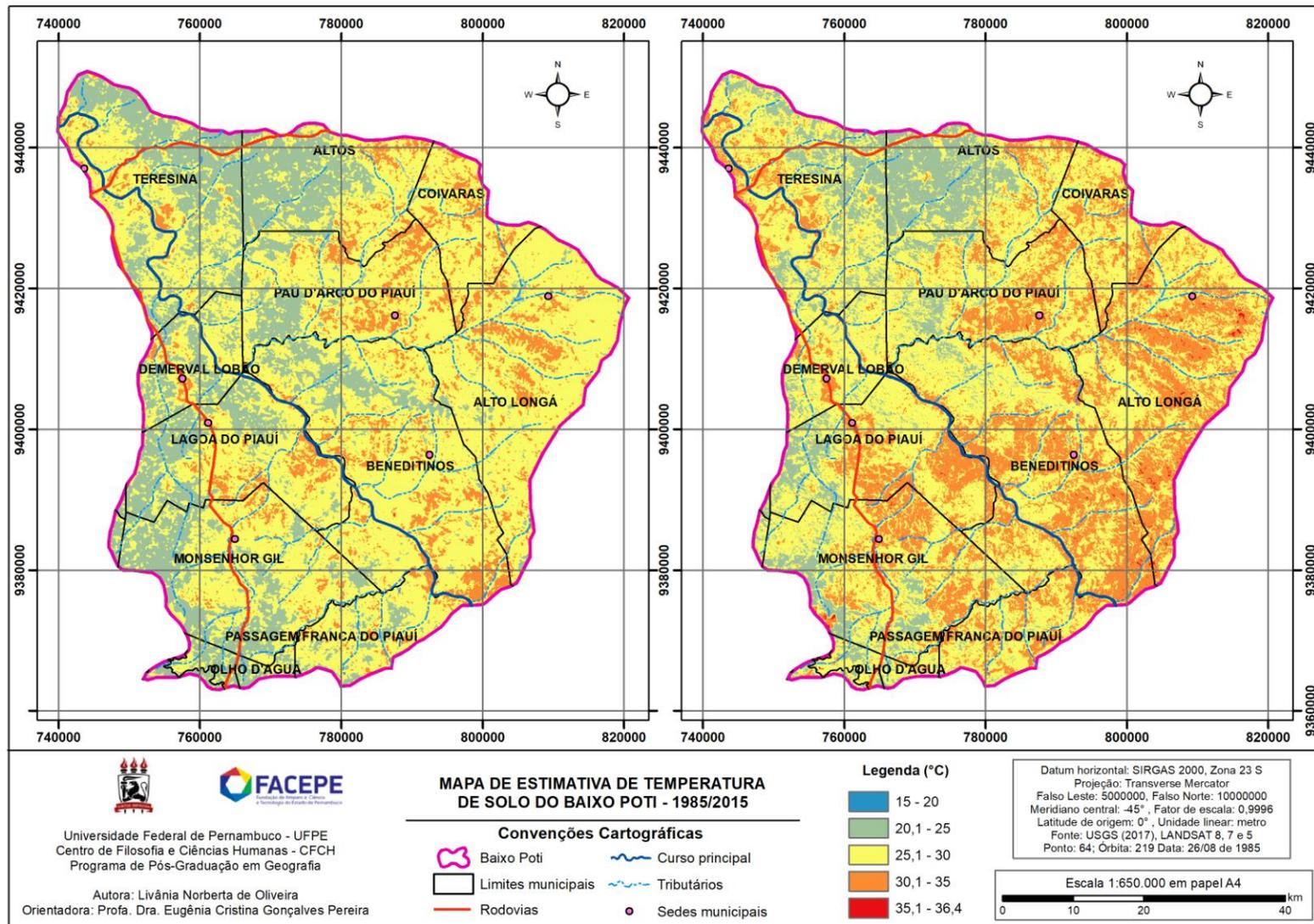
Apontam Muller *et al.* (2016) que as escalas espaço-temporais desempenham importante papel na análise da resiliência do ambiente, tanto pelo fato dos processos nos ecossistemas estarem operando em uma hierarquia, como também, devido aos distúrbios caracterizados por aspectos espaço-temporal. Relata também, que os processos de longo prazo podem produzir prejuízos cumulativos e degradações, aumentando a vulnerabilidade do ecossistema. Já em eventos de curta duração com alta intensidade, o sistema tem maior probabilidade de dinâmica não-resiliente. Diante disso, para melhor corresponder aos objetivos propostos fez-se uma comparação espaço-temporal dos anos de 1985 e 2015, da temperatura do solo e do índice de vegetação, por considerar relevantes para a resiliência do ambiente da área em pesquisa.

A temperatura do solo por ser uma propriedade de natureza física que influi diretamente em uma série de processos ambientais relacionados às plantas, tais como: germinação de sementes, velocidade e duração de crescimento, desenvolvimento e atividade radicular, na absorção de água e nutrientes pelas plantas e na atividade microbiana do solo. Assim, torna-se importante o conhecimento das temperaturas e propriedades térmicas do solo para o entendimento dos vários processos físicos existentes num ambiente (GASPARIM *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2006; DINIZ *et al.*, 2013).

Lei *et al.* (2011); Santos *et al.* (2011) e Carneiro (2014) afirmam que a variação espaço-temporal da temperatura do solo é ocasionada por um efeito abrangente da vegetação, dos fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), do terreno (declividade, orientação de vertentes, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas. Corroboram nessa perspectiva Silva *et al.* (2015), ao afirmarem que o monitoramento e a modelagem da temperatura do solo ao longo do tempo é indispensável, para subsidiar ações de manejo e conservação do solo e da água, e que a composição, a densidade, a umidade e a cobertura do solo são os principais fatores que influenciam a variação da temperatura do solo.

A temperatura do solo no BCRP entre 1985 e 2015 está representada no Mapa 5, com a imagem correspondente ao mês de agosto para ambos períodos, onde observa-se que houve um aumento em toda a área do BCRP, em função tanto da redução do índice de vegetação, como também, devido às condições climáticas e aos tipos de solo.

Mapa 5 - Temperatura do solo no baixo curso do rio Poti-Piauí no mês de agosto de 1985 e 2015



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Associando os resultados do Mapa 4 com o Mapa 3 que demonstra os tipos de solo da área de estudo, verifica-se que a temperatura do solo manteve-se estabilizada entre 20 e 25 graus no período analisado nas áreas de Latossolo Amarelo na região entre S-SO de Monsenhor Gil e SO de Altos, porém havendo aumento da temperatura do solo no município de Teresina, em função de ter uma maior utilização do solo tanto para produção agrícola, como para a densidade demográfica.

Observa-se ainda que, as áreas com solos do tipo Plintossolo e Neossolo estão associadas as áreas com maior aumento da temperatura do solo, entre os Municípios de Passagem Franca e Coivaras, os quais possuem menor capacidade de retenção de água do solo.

Segundo Gasparim *et al.* (2005) as temperaturas do solo aumentam conforme o grau de desnudamento. Discorre ainda, que a capacidade de um solo armazenar e transferir calor são determinados por suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas do local, que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo. A atividade microbiológica poderá ser interrompida, as sementes poderão não germinar e as plantas não se desenvolverem caso o solo não se apresente dentro de uma faixa de temperatura adequada para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos.

Destaca-se que as propriedades físicas da água, do ar e do solo, bem como seus movimentos e disponibilidade no solo, além de muitas reações químicas que liberam nutrientes para as plantas, são influenciados pela temperatura do solo. Além disso, o calor armazenado próximo da superfície do solo tem grande efeito na evaporação.

Quanto à fertilidade do solo, além da sua temperatura e do controle da erosão, são necessárias outras práticas que reponham os elementos nutritivos, controlem a combustão de matéria orgânica, diminuam a lixiviação, controlando, em parte, as causas de depauperamento do solo (ANSELMO, 2011).

Destaca-se que a maneira sustentável de manejo do solo com o propósito de manter sua capacidade de resiliência, deve ocorrer de forma que a demanda de insumos não exceda a capacidade natural de regeneração do solo, mesmo com o uso de técnicas rudimentares. Por isso, torna-se um dos grandes desafios da atualidade aumentar a produção da terra sem provocar sua exaustão. Para tanto, é necessário o controle do uso e ocupação do solo, por meio da restrição e da fiscalização das atividades antrópicas, como forma de proteger os mananciais, sobretudo identificando as áreas mais vulneráveis à contaminação, de forma a promover um controle do uso do solo, mantendo sua capacidade de resiliência frente aos usos existentes.

Dessa forma, ao explorar o solo, o ser humano retira a vegetação, rompe com o arado a superfície do terreno para semear as espécies vegetais úteis às suas necessidades, então o processo erosivo adquire velocidade e intensidade. Enquanto a natureza transforma a rocha em solo de forma lenta, o desgaste do solo pelo mau uso acontece de forma acelerada.

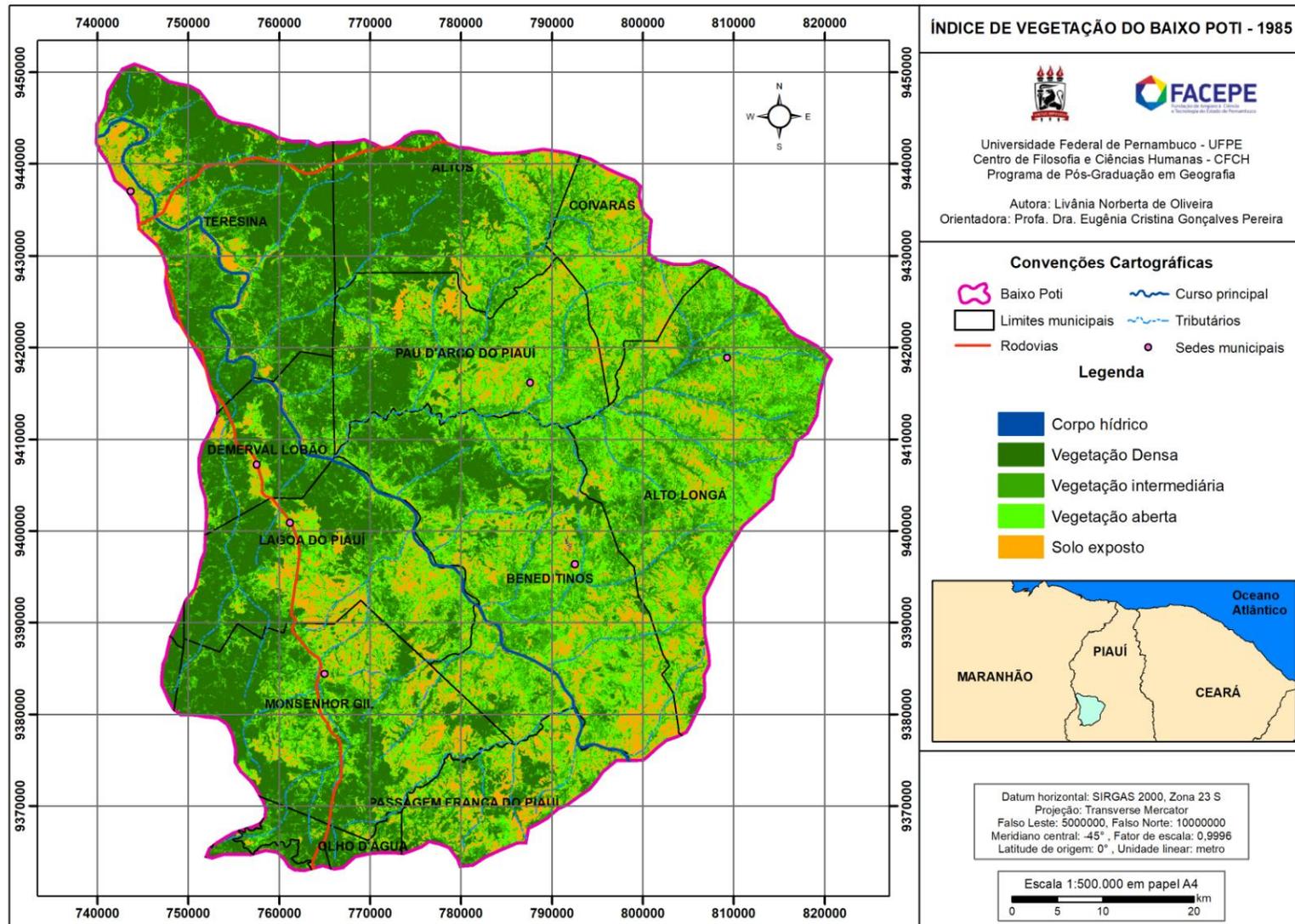
4.1.1.2 Cobertura vegetal

A flora piauiense ocupa áreas ecotonais, ocorrendo com diversidade significativa e particular. O cerrado, a caatinga e a floresta se interpenetram em zonas de transição e isto contribui para que os limites entre essas formações sejam tênues e de difícil estabelecimento.

Segundo Barros (2005), dos 11. 856. 866 hectares dos cerrados piauienses, 70,4% são classificados segundo características próprias ou de cerrado *sensu lato*, e os 29,6% restantes distribuem-se pelas suas áreas de transição ou ecotonais (RIVAS, 1996). Nas zonas de transição os cerrados apresentam contatos com caatinga, carrasco, mata seca decídua, mata estacional subdecídua, mata de babaçu (*Attalea speciosa Mart.*) e carnaubal (*Copernicia prunifera Moore.*), mata ripícula, ou com um complexo vegetacional.

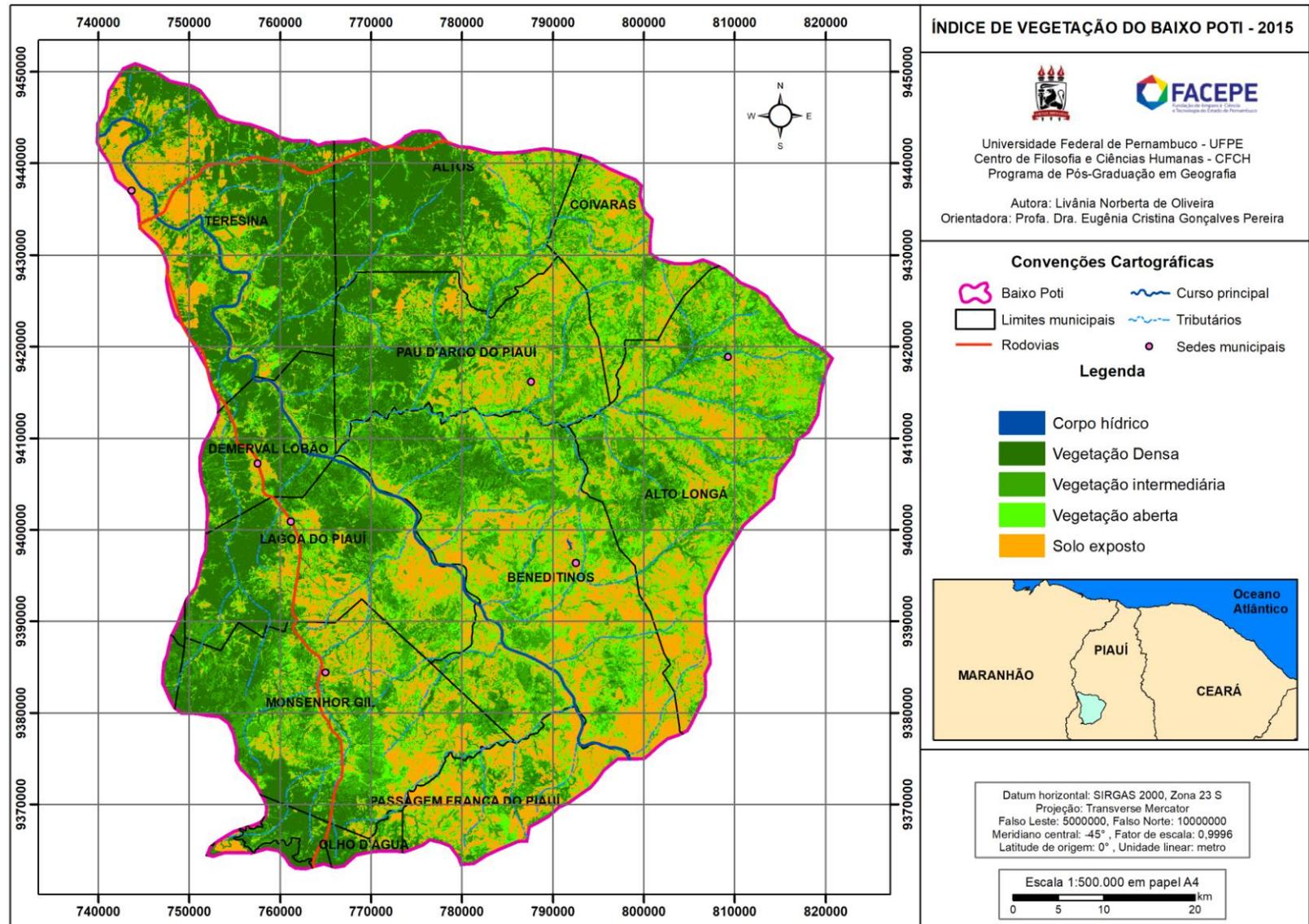
A cobertura vegetal do BCRP reflete as condições climáticas e pedológicas da área, apresentando transições vegetais entre caatinga, cerrado e floresta de babaçu. Para analisar a variação da vegetação entre os períodos de 1985 e 2015 utilizou-se o índice de vegetação ajustado ao solo NDVI (Mapas 6 e 7), que analisa a condição da vegetação no campo através de sensoriamento remoto. Na Tabela 9 observa-se a extensão em km² de cada classe para o mês de agosto, quando as imagens demonstraram melhor resposta para interpretação.

Mapa 6 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-1985



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Mapa 7 - Índice de vegetação do baixo curso da bacia do rio Poti-Piauí-2015



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Tabela 11 - Extensão territorial de cada classe do NDVI do BCRP-Piauí

Ano	Solo exposto (km ²)	Vegetação aberta (km ²)	Vegetação intermediária (km ²)	Vegetação densa (km ²)	Corpo hídrico (km ²)
1985	689.020,200	1.174.384,800	1.190.430,900	1.472.347,800	11.666,700
2015	1.168.527,60	1.013.798,700	1.126.731,600	1.225.044,900	3.747,600

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Observa-se na Tabela 11 que houve um expressivo aumento do solo exposto de 60,6% corroborando com a redução do índice de vegetação entre o período de 1985 e 2015, em função tanto da redução das precipitações para o mês de agosto, tanto devido aos condicionantes climáticos atuantes, como ao desmatamento na área do BCRP. Destaca-se também que houve uma escassez de chuvas em 2015 em todo o Estado do Piauí, chegando a secar as grandes lagoas existentes na área. A fim de facilitar a compreensão dos tipos de vegetação, adotou-se a legenda convencional do Sistema Fitogeográfico Brasileiro, na distribuição espacial das classes de vegetação mapeadas.

As áreas classificadas de vegetação densa estão associadas ao tipo cerradão e floresta de babaçu, e foram diferenciadas na imagem em função de sua coloração verde-escura, dispostas no sentido SO-N, entre os municípios de Lagoa do Piauí e Teresina, apresentando uma redução de 16,8% aproximadamente entre o período analisado. Ressalva-se que as áreas ocupadas por babaçu, foram incluídas também nesta classe, em decorrência da impossibilidade de separação deste tipo de vegetação na imagem, pois ambos se apresentam com a mesma resposta.

Na capital piauiense, conforme a PMT (2002) em seu sítio urbano predomina a floresta subcaducifólia mesclada de babaçu (*Attalea speciosa*), que pode ser observada nos parques existentes da cidade. Nas matas-galeria ocorre uma grande variedade de espécies, representativas de áreas de transição, como as palmeiras de buriti (*Mauritia flexuosa*) e carnaúba (*Copernicia prunifera*), angico branco (*Anadenanthera colubrina*), angico preto (*Piptadenia macrocarpa*), caneleiro (*Cenostigma macrophyllum* Tu), embaúba (*Cecropia pachystachya*), pau d'arco (*Tabebuia serratifolia*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), pitomba (*Talisia esculenta*), tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), unha de gato (*Uncaria tomentosa*), dentre outras.

Segundo Sales e Albuquerque (2002), entre os anos de 1993 e 2000 houve um aumento significativo das áreas verdes públicas de Teresina. Em 1993, a capital dispunha de 2,0 m²/hab, em 1998 já contava com 4,8 m²/hab, em 2000 essa cota foi elevada para 7,0

m²/hab, índice conseguido como resultado da criação de parques urbanos, e em 2002 para 13,00 m²/hab. Entretanto, nos últimos anos percebe-se uma redução deste índice em consequência do crescimento da cidade não estar associado ao aumento da quantidade de praças e parques, bem como da falta de manutenção dos já existentes.

Observa-se também na Tabela 11 que a NO do município de Beneditinos, envolvendo algumas áreas dos municípios de Lagoa do Piauí, Demerval Lobão e Altos, uma vegetação do tipo densa, caracterizada pelo contato cerrado-cerradão-floresta de babaçuais (Figura 6).

Figura 6 - Contato cerrado-babaçu no Município de Beneditinos em maio de 2015



Fonte: Autora (2015).

A coloração mais clara classifica-se como vegetação intermediária, a qual teve uma redução de 5,35% aproximadamente na área. Este tipo de vegetação está associado a áreas de transição cerrado-caatinga entre o S-SE e NE do baixo curso da bacia do Poti, que contempla a parte sul do município de Benditinos, Monsenhor Gil, Alto Longá, Coivaras e Pau D'arco do Piauí, (Figura 7).

Figura 7 - Contato cerrado-caatinga em Beneditinos-Piauí em maio de 2015



Fonte: Autora (2015)

Já a vegetação aberta caracteriza-se por ser do tipo caatinga, está associada ao solo pobre e pedregoso na área, a qual teve sua área reduzida em torno de 13,7%. Destaca-se que o bioma caatinga presente na área da bacia em pesquisa encontra-se bastante alterado, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens (Figura 8). Tendo em vista que o desmatamento e as queimadas são ainda práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária, é notória a degradação da cobertura vegetal e prejuízo à manutenção da fauna silvestre, além de comprometer a qualidade da água, o equilíbrio do clima e do solo. Na área dessa bacia aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados (MMA, 2006).

Figura 8 - Área desmatada na margem do rio Poti em Demerval Lobão- PI para cultivo de milho em maio de 2015



Fonte: Autora (2015)

Destaca-se que a caatinga é dominada por tipos de vegetação com características xerofíticas (formações vegetais secas, que compõem uma paisagem cálida e espinhosa) com estratos compostos por herbáceas, arbustos e árvores de porte baixo ou médio (3 a 7 metros de altura), caducifólias (folhas que caem), com grande quantidade de plantas espinhosas (exemplo: leguminosas), entremeadas de outras espécies como as cactáceas e as bromeliáceas. (MMA, 2006).

Segundo Castro *et al.* (1998) e Castro (2000), na área em estudo o cerrado apresenta-se na forma dos subtipos: campo sujo de cerrado, campo cerrado, cerrado *senso stricto* (no sentido restrito do conceito) e cerradão de cerrado (com fisionomia florestal e flora de/do cerrado), principalmente (Figura 9). Estes subtipos são determinados por questões naturais, primárias (sem efeitos de secundarização), pedológicas, fitogeográficas, ou por questões antrópicas, uma vez que níveis de alteração das condições primárias, quando presentes, influenciam sobre a estrutura.

Figura 9 - Vegetação do tipo cerrado no município de Demerval Lobão-Piauí em Maio de 2015



Fonte: Autora (2015.)

Barros (2005) considera para a vegetação do cerrado, uma ação conjunta de fatores como a estacionalidade climática, a pobreza em nutrientes dos solos e a presença frequente do fogo que, de acordo com a sua incidência no tempo e no espaço, condiciona as diferentes fisionomias vegetais deste bioma.

A retirada da vegetação, tanto na área rural quanto urbana, contribui para a alteração das condições climáticas, visto que a vegetação auxilia no controle da temperatura e da umidade do ar. Dessa forma, observa-se que as alterações climáticas geradas pelo processo de urbanização sem planejamento, controle e legislação adequada, apresentam-se com impacto significativo sobre a qualidade de vida das populações urbanas, afetando diretamente o clima local.

O desmatamento descontrolado para a ocupação destes terrenos cobertos por mata de babaçu ocorre com a retirada praticamente total da cobertura vegetal do terreno, na fase de instalação de loteamentos residenciais na cidade de Teresina. Tal prática, próxima às margens de rios e lagoas provocam a erosão das margens e assoreamento do rio Poti.

Observa-se ainda na Tabela 11 uma redução da área referente ao corpo hídrico de aproximadamente 7.920 km² (67,9%), tal situação está associada porque essa área tem cobertura vegetal rarefeita em Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos em grandes faixas

marginais ao Poti e de muitos de seus afluentes do baixo curso. Já a grande quantidade de depósitos aluviais deve-se, principalmente, às suas características naturais, por ser um rio de regime torrencial, temporário e encaixado em falhamentos regionais, que utiliza a própria carga de sedimentos como material abrasivo de desgaste das rochas do leito e das margens no período chuvoso e abandona essa carga por falta de competência no período seco (Figura 10) (LIMA; AUGUSTIN, 2014).

Figura10 - Assoreamento e seca do rio Poti na zona rural de Teresina-PI em julho de 2014



Fonte: Autora (2014)

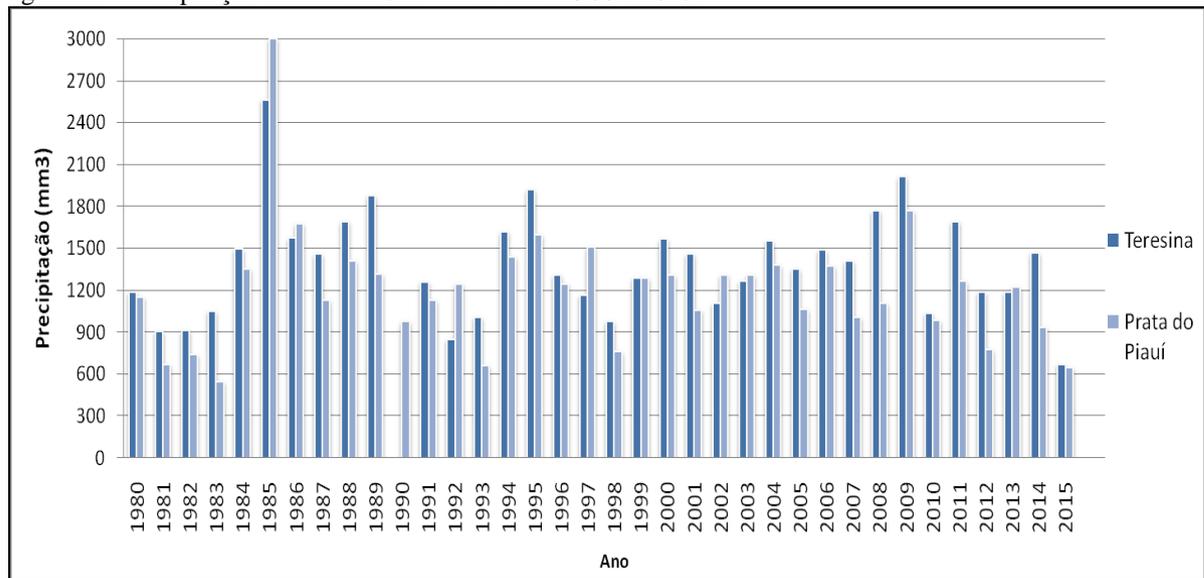
4.1.1.3 Recursos hídricos

Quanto ao aspecto climático da bacia do rio Poti, segundo a classificação de Koeppen, o clima predominante é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com chuvas de verão, apresentando temperatura média anual de aproximadamente 27,9°C e umidade relativa do ar que varia de 65% a 75% no ano (SEMAR, 2004).

Dentre os determinantes de chuva na região Nordeste e na área da bacia em questão, é marcante a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a estação chuvosa concentra-se de janeiro a maio com máximos de precipitação durante março e abril, meses nos quais a ZCIT atua de forma mais sistemática (FERREIRA e MELLO, 2005; FEITOSA *et al.*, 2016).

A partir dos dados pluviométricos disponibilizados pela CPRM, verificou-se que no BCRP a precipitação média anual foi da ordem de 1.250 mm (Figura 11). No ano de 1985 houve o maior volume de chuva com uma média de 2.750 mm, em contraste com o ano de 2015 que apresentou o menor volume de precipitação com uma média de 650 mm. Essa instabilidade do volume pluviométrico reflete diretamente na drenagem e nos aspectos da vegetação da área.

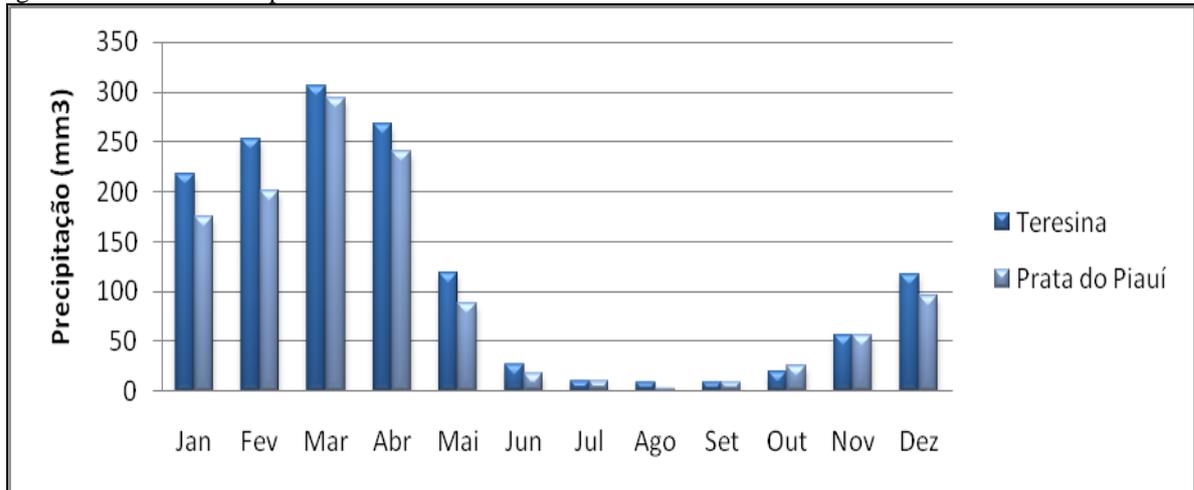
Figura 11 - Precipitação anual do BCRP-Piauí entre 1980 e 2015.



Fonte: Autora (2017); CPRM (2016)

Quanto à sazonalidade das chuvas do BCRP, o trimestre fevereiro-março-abril apresenta-se como mais chuvoso, com aproximadamente 56% do total anual, destacando-se o mês de março, com cerca de 23% do total anualmente precipitado (Figura 12). O trimestre mais seco encontra-se entre julho-agosto-setembro, quando chove cerca de 3% do total anual. Tal circunstancia influencia na drenagem do rio Poti e seus tributários como se observada na Figura 13, onde verifica a redução e/ou eliminação da vazão do rio Gameleira, afluente do rio Poti no Município de Demerval Lobão.

Figura 12 - Sazonalidade pluviométrica no BCRP-Piauí



Fonte: Oliveira (2017)

Figura 13 - Sazonalidade da vazão do rio Gameleira em Demerval Lobão-Piauí



Fonte: Oliveira (2015)

Cabe destacar que a baixa vazão do rio por um longo período de tempo, diminui sua capacidade de assimilar a poluição adicionada, sobretudo nas áreas urbanas, como ocorre em Teresina, resultando em graves problemas de qualidade da água, sobretudo para a biota aquática.

Sugere Pionke (1999) que sejam feitas análises sazonais da vazão de um rio, para fazer simulações e elaborar estratégias de recuperação e controle da exportação de nutrientes proveniente das ações antrópicas existentes nas bacias hidrográficas.

Verifica-se também que durante o período chuvoso, nas áreas rurais e semi-urbanas, os solos já compactados durante a estiagem, apresentam reduzida capacidade de absorção da água e esta passa a escoar sobre a superfície, carreando o material solto, provocando erosões, gerando sulcos que podem se transformar em voçorocas e comprometendo o solo. Este

fenômeno é mais frequente nas áreas sobre os Latossolos, comuns na área em pesquisa entre Demerval Lobão e Teresina. Já nas áreas urbanas, devido à impermeabilização do solo, observam-se muitas áreas inundáveis neste período.

O escoamento fluvial de um rio sobrevém tanto das águas superficiais, função direta das precipitações atmosféricas, quanto das águas subterrâneas drenadas do sistema aquífero. Os meios hídricos subterrâneos e superficiais formam assim um sistema único em dinâmica e interação. Portanto, qualquer modificação em um desses meios, conseqüentemente refletirá a curto ou longo prazo em todo o sistema, ressaltando assim a necessidade de um gerenciamento integrado (GODOY e CRUZ, 2016).

Em pesquisa de campo verificou-se a existência de várias nascentes que ajudam a alimentar a drenagem do rio Poti no seu baixo curso. Algumas em locais de difícil acesso, favorecendo sua preservação, entretanto próximas a povoados e/ou estradas de acesso aos povoados, que servem para o abastecimento doméstico de famílias, deixando-as vulneráveis pelas intervenções indevidas, e até extinguindo sua permanência.

Na Figura 14-A, observa-se moradora do povoado Fazenda Nova no Município de Beneditinos, coletando água de uma nascente para abastecimento doméstico. Segundo a moradora a água é utilizada para atividades domésticas, desde beber à lavagem de roupa. Esta nascente apresenta ainda um bom volume de água em comparação à nascente da Figura 14-B, localizada no povoado Olho D'água no mesmo Município. A população utiliza o recurso hídrico para as mesmas funções, no entanto sua estrutura natural sofreu modificações pelos habitantes, que construíram um tipo de barramento da água ao redor da nascente e colocaram uma grade para impedir o acesso de animais. Em consequência, houve a diminuição do seu volume de água chegando a secar nos últimos três anos. Tal fato antes não acontecia, segundo relatos de moradores. Esta situação é comum em muitas nascentes localizadas na área de estudo. Outro fator relevante observado nas proximidades de algumas nascentes é a construção de banheiros (Figura 12-B), situação que compromete a qualidade da água devido às impurezas absorvidas pelo solo, o que pode influenciar também na recuperação desse ecossistema.

Figura 14 - Situação de olhos d'água no baixo curso da bacia do Poti-Piauí em maio de 2015



Fonte: Autora (2014)

Dessa forma, presume-se o comprometimento da permanência destas nascentes como fonte que alimenta o rio Poti, tendo em vista a inexistência de um planejamento para mapeamento e fiscalização destas. Com isso, é necessária e urgente a gestão dos recursos naturais desta área, tendo em vista a impossibilidade do ambiente se restabelecer, como já acontece com a extinção de algumas nascentes na região, que leva à redução da vazão do rio, comprometendo a resiliência desse ecossistema.

Observou-se também nas visitas de campo que a perenidade do rio Poti em seu baixo curso é condicionada principalmente pelas nascentes existentes na área, sobretudo nos municípios de Beneritinos, Lagoa do Piauí, Passagem Franca, Pau D'arco e Demerval Lobão. Em adição, a foz do rio Sambito, localizada a montante do rio Poti, na cidade de Prata do Piauí, não contribui a contento, por apresentar-se seca na maior parte do ano (Figura 15), tanto em função da construção da Barragem Mesa de Pedra no ano de 2001 a montante, como devido à redução do volume de precipitação na área, que interrompeu sua perenidade, impossibilitado de influenciar na vazão do rio Poti em seu baixo curso, como contribui o rio Berlingas ao desaguar no Poti no município de Passagem Franca (Figura 16), embora se apresente seco em seu médio curso.

Figura 15 - Foz do rio Sambito no rio Poti em Junho de 2014



Fonte: Autora (2014).

Figura 16 - Foz do rio Berlingas no rio Poti em Junho de 2014 (indicação da seta)



Fonte: Autora (2014).

Dessa forma, confere-se que as nascentes são fundamentais para a perenização do rio Poti no seu baixo curso, tornando-se assim necessário seu manejo adequado, sob pena de comprometer a sustentabilidade e resiliência desse ecossistema e do ambiente como todo.

Observou-se também ser comum na área do baixo curso a existência de nascentes localizadas no sopé das serras, visto a condição geológica e geomorfológica do relevo constituído de superfícies aplainadas e altimetria aproximada de 200 metros, desde Beneditinos à Teresina.

Destaca-se que no Brasil as águas subterrâneas desempenham importante papel ecológico sendo fundamental para manutenção da biota e fins estéticos em corpos d'água

superficiais, pois a perenização da maior parte dos rios é feita pela descarga de aquíferos, através dos fluxos de base (COSTA e BACELLAR, 2010).

O fluxo de base de um rio é a porção do fluxo total proveniente do aquífero, ou seja, corresponde à descarga de água subterrânea para o sistema superficial. É, portanto, o aporte que mantém a perenidade do canal em períodos de estiagem (SANTOS e ARAÚJO, 2013). Tal circunstância acontece com o rio Poti no seu baixo curso, a partir da cidade de Beneditinos, por ocasião da existência do aquífero Poti-Piauí, o qual favorece o surgimento de nascentes que ajudam a alimentar o rio Poti, o tornando perene a partir deste trecho.

Cabe destacar que a proteção das águas subterrâneas depende diretamente das atividades antrópicas e, portanto, só se torna eficiente se adotada conjuntamente dentro dos planos diretores de uso e ocupação dos solos dos municípios envolvidos.

Segundo a ANA (2009), a distribuição das áreas de recarga dos aquíferos na região hidrográfica do Parnaíba o sistema Poti-Piauí, presente na bacia do rio Poti representa 25,7%, na área do baixo curso dessa bacia abrangendo aproximadamente 60% da área.

O sistema aquífero Poti-Piauí é explorado como aquífero livre e confinado. Apresenta diferenças topográficas em sub-superfície, condicionando a variabilidade dos níveis estáticos dos poços. Sua captação é feita através de poços tubulares parcialmente revestidos, com profundidade que variam de 80 a 200 metros e, por poços manuais do tipo cacimbões com até 20 metros de profundidade. Seu principal uso é para o abastecimento doméstico (MMA, 2006).

O baixo volume da vazão do rio Poti em seu baixo curso, tem ocasionado uma intensa perfuração de poços pela população para suprir as necessidades e atividades. Segundo o sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIARGAS) existem na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti aproximadamente 1.990 poços registrados até Março de 2016. Desses, 1.578 poços estão em Teresina, 115 poços em Beneditinos, 102 poços em Demerval Lobão, 92 poços em Lagoa do Piauí, 55 poços em Pau D'arco do Piauí e 48 poços em Passagem Franca do Piauí. Ressalta-se que na capital do Estado, por apresentar uma demanda maior de abastecimento para a população, há em consequência maior exploração do aquífero, contudo, destaca-se que o crescimento urbano desordenado da cidade, associado ao aumento da impermeabilidade do solo tem comprometido a sua alimentação e manutenção.

Destaca-se que na área do baixo curso da bacia do rio Poti prevalece o domínio hidrogeológico representado por rochas sedimentares da bacia do Parnaíba, constituídas pelas Formações Poti, Piauí, Pedra de Fogo e Pastos Bons.

Conforme CPRM (2010), as formações Poti e Piauí comportam-se pelas características litológicas como unidade hidrogeológica. A alternância de leitos mais ou menos permeáveis no âmbito dessas duas formações indica desempenhos de aquíferos e aquitardes. A recarga desses sistemas ocorre por infiltração vertical, tendo uma potencialidade hidrogeológica que varia de regular a fraca. Pode ser encontrada no baixo curso da bacia nos municípios de Beneditinos, Lagoa do Piauí e Passagem Franca do Piauí.

Diante do exposto, verifica-se a importância da água subterrânea, tanto para a manutenção do ambiente como para o desenvolvimento social e econômico da população do baixo curso do rio Poti. Todavia, o pouco conhecimento do potencial e do estágio de exploração dos aquíferos impõe grandes desafios para a gestão adequada desse recurso de forma a manter a resiliência do ambiente, tendo em vista que a dinâmica das águas subterrâneas é distinta daquela das águas superficiais.

Do ponto de vista da gestão do recurso hídrico, o rio é analisado de forma oposta ao aquífero, por ter muitas vezes uma baixa capacidade de armazenar água, entretanto pode oferecer uma vazão instantânea muito maior do que os rios. Adicionalmente, a exploração dos aquíferos é feita por poços e nascentes que, geralmente, possuem vazões estáveis, sendo pouco influenciado pela sazonalidade climática, mas, geralmente reduzidas quando comparadas às observadas em captações superficiais.

4.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

No Estado do Piauí a bacia hidrográfica do rio Poti abrange 38 municípios, os que envolvem o baixo curso a serem analisados nesta pesquisa serão: Passagem Franca; Beneditinos, Alto Longá, Lagoa do Piauí; Pau D'arco do Piauí; Coivaras, Altos, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Passagem Franca, Demerval Lobão, Beneditinos e Teresina.

Embora a capital piauiense não constar na bacia do Poti, em virtude de sua demanda ter sido apropriada à bacia do médio Parnaíba, para esta pesquisa Teresina será incluída, tendo em vista que o rio Poti percorre aproximadamente 30 km do núcleo urbano da cidade, onde seu leito forma vários meandros até a sua foz, sendo relevante para a análise da capacidade de resiliência do ambiente frente à pressão existente pelo processo urbano da cidade.

Na Tabela 12 verifica-se que destes municípios, Teresina, Passagem Franca e Beneditinos possuem a maior extensão territorial, com a capital apresentando a maior densidade demográfica, seguido do Município de Demerval Lobão, ambos possuindo seu

núcleo urbano próximo ao leito principal do rio Poti, o que exerce forte pressão sobre o mesmo.

Tabela 12 - Municípios incluídos na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti

Municípios	População 2000	População 2016	População rural 2016	Extensão territorial (km ²)
Altos	39.122	39.795	30%	957,655
Teresina*	725.360	847.430	5%	1.391,98
Demerval Lobão*	12.489	13.575	19%	216,807
Beneditinos*	9.712	10.032	37%	9.712
Lagoa do Piauí*	3.488	3.987	57,90%	426,634
Pau D'arco do Piauí*	3.713 (2007)	3.957	86%	430,817
Monsenhor Gil*	10.309	10.410	48,60%	568,731
Passagem Franca	4.195	4.491	47,10%	4.195
Coivaras	3.507	3.942	69,50%	485,496
Alto Longá*	12.000	14.040	49,80%	1.737,84
Miguel Leão	1.370	1.228	31%	93,515

Fonte: IBGE, 2016 (* possui a sede municipal inserida na área de estudo)

Observa-se ainda na Tabela 12 que entre 2000 e 2016 a população aumentou em quase todos os municípios da área do BCRP, sobretudo da cidade de Teresina por se caracterizar como um pólo de saúde, educação e comércio no Estado do Piauí, atraindo pessoas de todo o Estado e de outras regiões do Brasil.

Destaca-se que a área do BCRP caracteriza-se por ser predominantemente rural, como se observa na Tabela 12 para a população dos municípios de Lagoa do Piauí, Pau D'arco do Piauí e Coivaras, onde a atividade agrícola é a principal fonte de renda e sobrevivência para a população local.

Na Tabela 13 observam-se as principais culturas agrícolas desenvolvidas nos municípios do BCRP, referentes ao ano de 2015 e com produção acima de mil toneladas. Dessas culturas, o arroz, a cana de açúcar, a mandioca, a melancia e o milho possuem produção do tipo temporária. Já o cultivo da banana e manga possuem produção do tipo permanente.

Tabela 13 - Principais cultivos agrícolas no baixo curso do rio Poti-Piauí

Cultivo agrícola	Total 2015 (toneladas)	Maior produtor/Município
Arroz	1.738	Monsenhor Gil com 499 t
Cana-de-açúcar	201.649	Teresina com 200.930 t
Mandioca	7.589	Monsenhor 5.000 t
Melancia	5.472	Pau D'arco do Piauí com 1.000 t
Milho (em grão)	1.988	Teresina com 525 t
Banana	1.030	Teresina com 602 t
Manga	1.612	Teresina com 440 t

Fonte: IBGE (2016)

Observa-se ainda na Tabela 13 que em Teresina se concentra a maior parte dos cultivos agrícolas, sendo a cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) a cultura de maior produção, seguida do cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*) e melancia (*Citrullus lanatus*). O Município de Pau D'arco do Piauí é o maior produtor de melancia na área de estudo.

Destaca-se que, na maioria das vezes, o cultivo é feito por pequenos agricultores com a utilização de métodos rudimentares, utilizando a cultura de vazante nas margens do rio Poti e seus tributários, para subsistência das famílias e comercialização nos mercados públicos dos municípios.

Na capital Teresina também se destaca a oferta de empregos na área dos serviços, em contraste com os demais municípios que apresentam atividades econômicas predominantemente agrícolas.

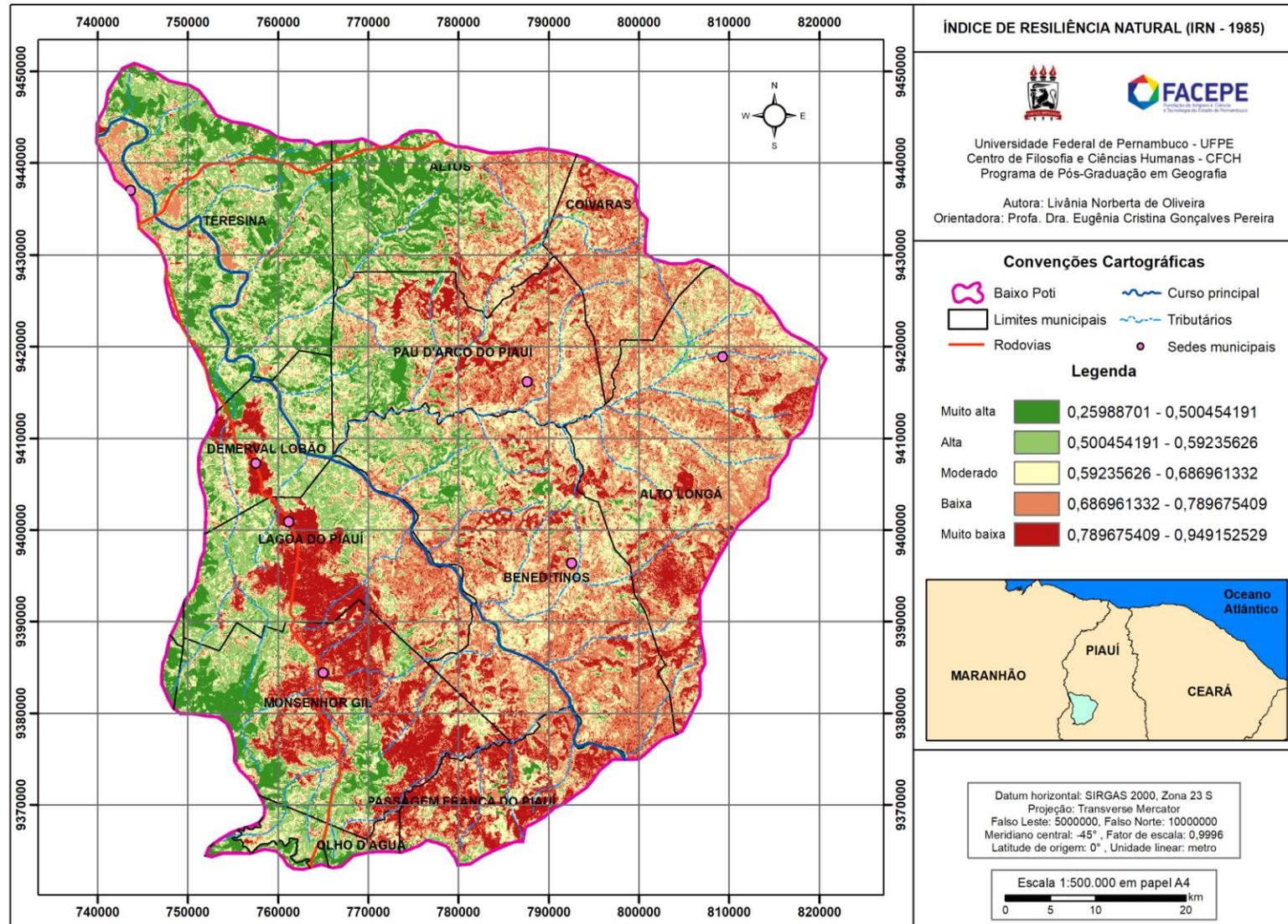
5 ANÁLISE DA CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA DO AMBIENTE NO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAUI

5.1 ÍNDICE DE RESILIÊNCIA NATURAL DO AMBIENTE DO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAUI

Para analisar o Índice de Resiliência Natural (IRN) do baixo curso do rio Poti, fez-se o cruzamento dos aspectos da declividade média, da pedologia, da temperatura do solo e pelo índice de vegetação-NDVI, proporcionando identificar a resiliência natural da bacia entre o período de 1985 e 2015, para melhor compreender a dinâmica natural do ambiente através dos atributos articulados.

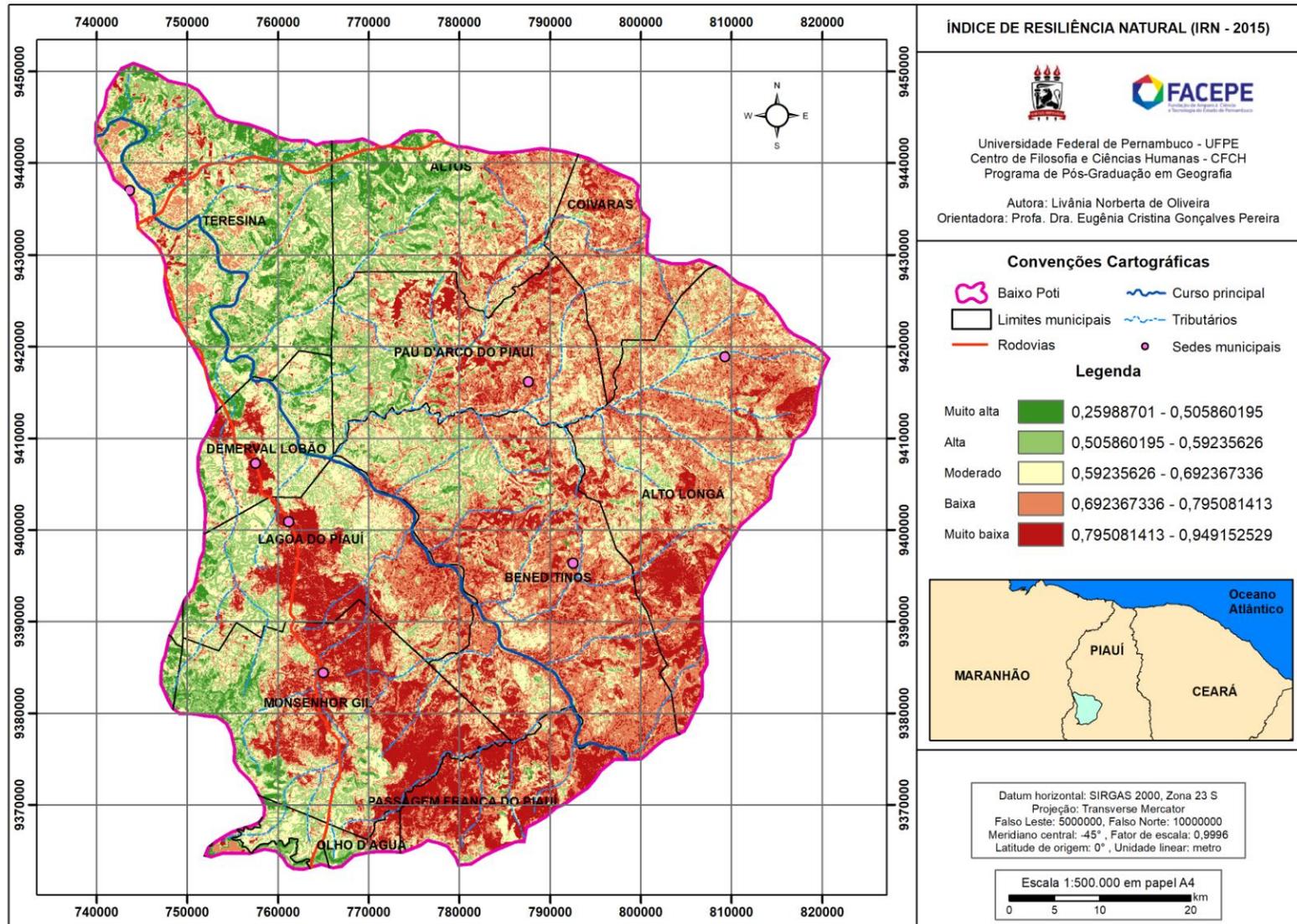
Desta forma, verifica-se nos Mapas 8 e 9, que no período analisado o IRN de baixo a muito baixo aumentou aproximadamente 21 mil hectares, o que corresponde a 5,6% da bacia de S-NE, está associada principalmente às áreas urbanas, como em Teresina que se expandiu neste período, bem como as áreas de solo exposto entre os Municípios de Lagoa do Piauí e Passagem Franca do Piauí, que apresenta predomínio do solo do tipo Neossolo Litólico e relevo de ondulado a forte ondulado. Assim como, entre os Municípios de Beneditinos e Coivara que apresentam relevo ondulado a suave ondulado, com forte representatividade de solo do tipo Plintossolo Pétrico e vegetação do tipo caatinga/cerrado.

Mapa 8 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 1985



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Mapa 9 - Índice de Resiliência Natural do baixo curso do rio Poti em 2015



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Observa-se ainda nos Mapas 8 e 9, que as áreas de IRN muito baixa estão associadas principalmente aos solos do tipo Neossolos Litólicos, caracterizados por serem solos jovens e pouco desenvolvidos. Todavia, em algumas áreas apresenta limitações ao uso agrícola devido a baixa profundidade efetiva e pequena capacidade de armazenamento de água, associada à pedregosidade generalizada com alta suscetibilidade à erosão (MELO, 2008; SANTOS e AQUINO, 2009). Dessa forma, a sua indicação principal é para preservação ambiental.

A resiliência do solo está relacionada com a sua qualidade, seu grau de recuperação das funções apesar de sofrer perturbações (PIMM, 1984; HERRICK e WANDER, 1998; SEYBOLD *et al.*, 1999). Dessa forma a redução na capacidade de função define o grau de resistência do solo.

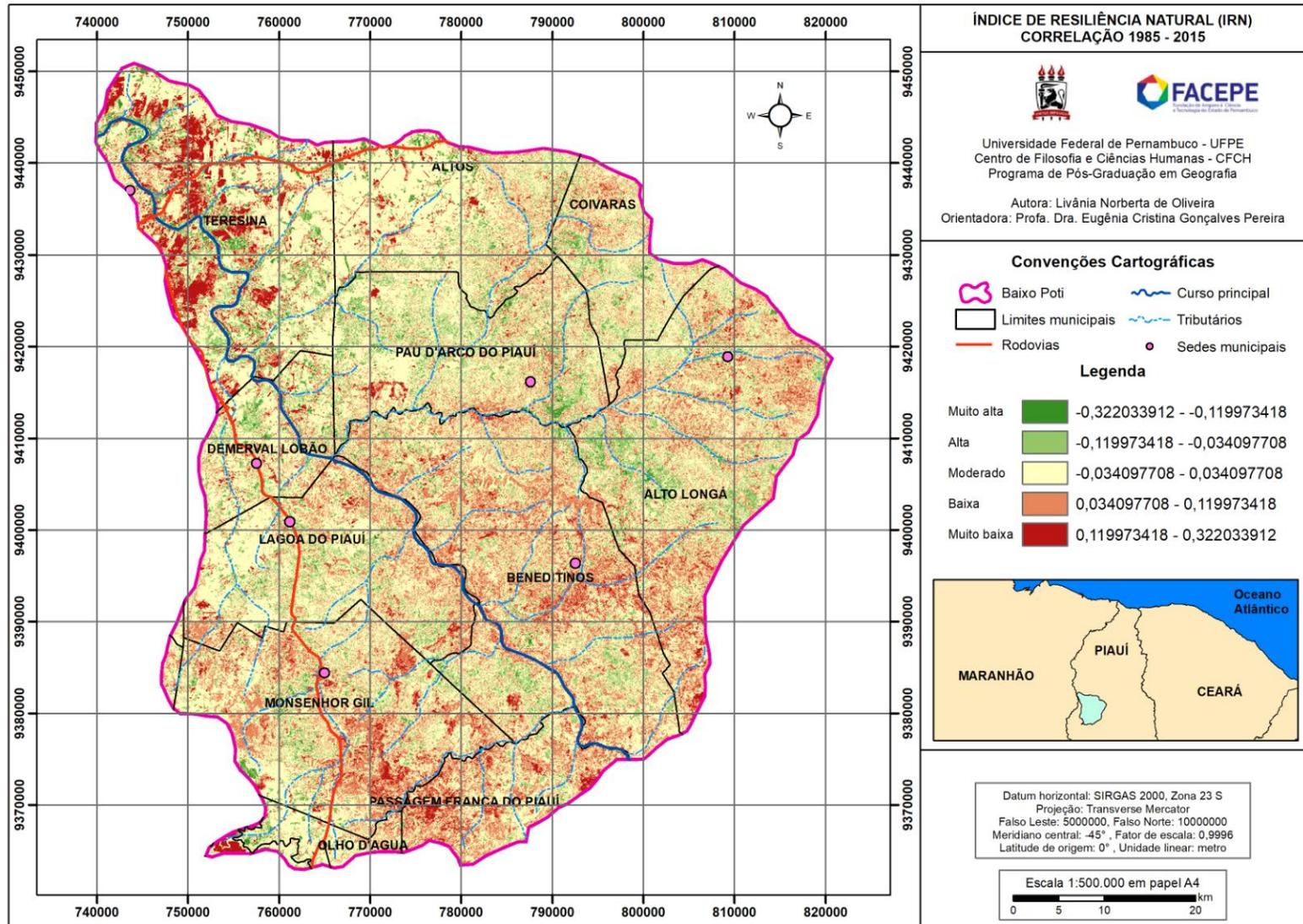
Herrick e Wander (1998) sugeriram que a capacidade do solo para recuperar após perturbação tem dois componentes: a taxa de recuperação e o grau de recuperação. Descrevem que a taxa de recuperação, refere-se à quantidade de tempo que o solo leva para recuperar seu potencial original ou algum potencial estabilizado inferiormente. Ressaltando que quanto maior for a taxa e (ou) grau de recuperação, mais resiliente será o solo.

Seybold *et al* (1999) salientaram que, se o solo for frágil ou sofrer perturbação muito drástica, pode sofrer uma degradação irreversível e sua capacidade de função não vai se recuperar dentro de qualquer prazo razoável (por exemplo, tempo de vida humana). Em tais casos, excede a capacidade de resistência do solo, resultando em danos permanentes ou a necessidade de restauração onerosa.

Observa-se também que o IRN reduziu cerca de 33 mil hectares (8,7%), para a classe de alta a muito alta, que está associada à área de maior cobertura vegetal do tipo cerradão e Floresta de babaçu, desde o município de Monsenhor Gil à Altos, na parte SO-N da bacia. Destaca-se, que a classe moderada aumentou também o correspondente a 8 mil hectares, está associada à redução da vegetação primária, com tendência a diminuir a resiliência natural caso não haja ações preventivas e de recuperação da área afetada, tendo em vista os aspectos do solo e vegetação existentes.

Diante disso, para melhor interpretar o IRN do BCRP, fez-se correlação dos efeitos para os anos de 1985 e 2015, subtraindo as camadas a fim de observar as áreas na bacia que reagiram de forma positiva e negativa neste período (Mapa 10).

Mapa 10 - Correlação do IRN entre 1985-2015 do baixo curso do rio Poti-Piauí



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Verifica-se no Mapa 10 que no BCPR o IRN apresenta-se predominantemente moderado (56%), seguido da classificação baixo (25%) e muito baixo (6%), principalmente na área correspondente à cidade de Teresina. Ou seja, no ambiente urbano, a capacidade de resiliência natural diante das formas de uso da terra foi diagnosticada como regressiva, por sofrer maior pressão pelo desordenamento territorial, através do uso e ocupação irregular do solo e exploração dos recursos naturais.

No município de Teresina é predominante o solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, que está associado aos relevos planos, suave ondulado ou ondulado, ocorrendo em ambientes bem drenados, sendo profundos e uniformes, em características de cor, textura e estrutura. Os Latossolos são passíveis de utilização para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento, desde que haja uma boa correção de suas propriedades químicas, pois apresentam baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2014). Há também o solo do tipo Argissolo, caracterizado por apresentar acúmulo de argila em subsuperfície, tipificado pelo horizonte B textural (Bt). Sendo muito explorado na área próximo a foz do rio Poti para produção de artesanato (Figura 17), bem como para atividades agrícolas e pastagens. O manejo inadequado, associado ao crescimento da cidade tem comprometido sua capacidade de resiliência.

Figura 17 - Manejo de solo argiloso para produção de tijolos e artesanato em Teresina-Piauí



Fonte: diário do povo, 2011 (<http://diariodopovo-pi.com.br/VerNoticia.aspx?id=5223>)

Destaca-se que em muitas áreas de Teresina o traçado dos loteamentos e de conjuntos habitacionais foi construído sem levar conta as formas de relevo, ocasionando o desmate de grandes áreas e traçando ruas sem obedecer às curvas de nível, descendo encostas e cortando fundos de vales indiscriminadamente, sem um plano que incluía obras de contenção e áreas de proteção, o que provoca o desencadeamento de processos erosivos e instabilidade nas construções, além da degradação da paisagem e altos custos financeiros e sociais, tornando-se regressiva a capacidade de resiliência do ambiente diante dessas condições.

A atividade extrativa mineral, realizada nos baixos planaltos e nas margens do rio Poti, com maior intensidade na cidade de Teresina, somada a intervenção antrópica na área, tem provocado desmatamentos, comprometendo a biota existente e a resiliência do ambiente.

Machado *et al.* (2010) ao analisarem o índice de cobertura vegetal/habitante em Teresina, calculado em m²/habitante, observou-se que houve uma redução aproximada de 13 km² de cobertura vegetal na zona urbana da cidade, por consequência do aumento populacional e da capital.

Destaca-se que Teresina possui uma baixa cobertura do sistema público de esgotamento sanitário. Tal circunstância indica dois tipos de riscos graves para o ecossistema aquático. O primeiro é que o deficiente sistema de esgotamento sanitário, leva ao uso intenso de fossas sépticas que poluem o lençol freático; o segundo é que os poluentes da drenagem urbana despejada no rio Poti, que possui na maior parte do ano uma baixa frequência de vazão em decorrência das condições climáticas da cidade, favorece a eutrofização do rio no período de estiagem (Figura 18). Com isso, a capacidade de resiliência apresenta-se regressiva no decorrer do tempo, caso não seja aplicado um plano de gestão sustentável desse ecossistema.

Figura 18 - Situação do rio Poti em Teresina-Piauí com e sem período de estiagem



Fonte: cidadeverde.com em outubro de 2016

Dessa forma, para que haja a sustentabilidade dos recursos hídricos, como do rio Poti que corta todo núcleo urbano de Teresina, torna-se necessária a melhoria da qualidade das águas dos corpos receptores, através da ampliação do sistema de tratamento de esgoto, buscando preservá-lo.

Observa-se ainda no Mapa 9, que na área rural o IRN apresenta-se de moderado a alto (11%) especificamente onde a vegetação apresenta menos antropizada, entre os Municípios de Lagoa do Piauí a Demerval Lobão e Pau D'arco do Piauí a Altos. Nesta área a vegetação do tipo cerrado é predominante, e está associada à floresta subcaducifólia, com forte ocorrência de babaçu. Entretanto, há também uma extensa área antropizada, com vegetação secundária e áreas de desmatamento, bem como pastagens ou tratos agrícolas de ciclo curto ou longo (MMA, 2006).

Verifica-se também na área rural do BCRP que o IRN é classificado de baixo a muito baixo nas áreas de solo exposto, na margem esquerda do rio Poti, entre os municípios de Passagem Franca e Monsenhor Gil, apresentando assim resiliência ambiental regressiva. Neste trecho há baixa densidade demográfica, com a atividade agrícola sendo a principal fonte de renda da população, que muitas vezes utiliza das margens do rio para cultivo.

Em Demerval Lobão a sedimentação fluvial é intensa, ocupa o leito regular do rio e forma grandes bancos de areia, como pequenas ilhas, onde se observa nas imagens a formação de vegetação natural. Isso ocorre principalmente devido o desmatamento das margens do rio

para a prática da cultura de vazante de milho, melancia, arroz, dentre outras (Figura 19). Tal atividade ocorre em decorrência destas áreas apresentarem solos propícios para desenvolvimento da agricultura de ciclo curto. Contudo, o manejo inadequado dos recursos naturais na margem do rio oferece riscos e implica na capacidade de resiliência do ambiente.

Figura 19 - Cultura de vazante nas margens do rio Poti, no município de Demerval Lobão-Piauí em Julho de 2014



Fonte: Autora (2014)

Observa-se que nos municípios que margeiam o rio Poti, o uso da APP para atividades agrícolas chega a ser intenso, sendo comum o uso da técnica de vazante, devido principalmente ao baixo nível do rio Poti, que possui baixa frequência de vazão durante a maior parte do ano, tendo em vista as condições climáticas na região, com a concentração da precipitação entre os meses de janeiro a março.

A retirada da vegetação, tanto na área rural quanto urbana, contribui para a alteração das condições climáticas, visto que a vegetação auxilia no controle da temperatura do solo e da umidade do ar. Dessa forma, observa-se que as alterações climáticas geradas pelo processo de urbanização sem planejamento, controle e legislação adequada, apresentam-se com

impacto significativo sobre a qualidade de vida das populações urbanas, afetando diretamente o clima local.

Observa-se também, que na margem direita do rio Poti, na área correspondente ao município de Beneditinos o IRN apresenta-se de moderado a alto, em comparação com as áreas de Alto Longá a Altos que apresenta resiliência natural de moderada a baixa, tendo em vista a existência de áreas preservadas entre os municípios de Pau D'arco e Altos, embora se observe uma redução do índice de vegetação. Todavia, na área NE da bacia entre Alto Longá e Coivaras constata-se maior índice de vegetação com resiliência de moderada a baixa.

Costa *et al.* (2015) ao analisarem os recursos naturais do município de Demerval Lobão, localizado na área em estudo, identificaram alterações em algumas áreas ocasionadas pela atividade humana, em detrimento do desmatamento, que é praticado de acordo com interesses particulares, sendo a mata dos cocais uma das mais agredidas, ocasionando um aumento da erosão dos solos, assim como, o assoreamento de riachos e do rio Poti. Ficando o ambiente vulneráveis a ação antrópica, situação similar ocorre nos demais municípios do baixo curso da bacia do rio Poti.

Francis *et al.* (2016) ao estudarem a capacidade de resiliência do solo no Canadá, averiguaram que um sistema resiliente, não é necessariamente um sistema imutável, mas que possui a capacidade de absorver as perturbações e manter suas funções essenciais. Neste contexto, como a área em estudo está localizada na região Meio Norte do país, a qual apresenta uma faixa de transição de vegetação dos tipos floresta subcaducifólia, cerrado e caatinga, em decorrência das condições de clima e relevo, ao sofrer impactos tendem a perder sua funcionalidade estrutural com o tempo, comprometendo a sua resiliência, conforme se observa nos resultados do índice de vegetação para os anos de 1985 e 2015 (Mapas 5 e 6).

5.2 VULNERABILIDADE SOCIAL NO BAIXO CURSO DO RIO POTI-PIAÚÍ

É cada vez mais reconhecido que muitos dos problemas sociais e econômicos no mundo não podem ser analisados separados dos problemas ambientais (e vice-versa), e que o sistema ser humano-ambiente, através do qual os seres humanos interagem com o meio ambiente deve ser abordado de forma integrada (TURNER *et al.*, 2003). Dessa forma, para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas deve-se adotar uma abordagem integrada dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, bem como incluir os

objetivos de qualidade ambiental para utilização dos recursos naturais (CUPPENS *et al.*, 2012).

Neste contexto, para avaliar a vulnerabilidade social desenvolveu-se o Índice Municipal de Vulnerabilidade Social (IMVS) do baixo curso do rio Poti, a partir de um conjunto de 79 variáveis com base no censo demográfico de 2010, organizadas em sete grupos: educação, domicílios, gênero, morador, etnia, renda e idade, das quais a partir da análise fatorial no software SPSS, foram mantidas 35 após a realização de um teste de colinearidade, que resultou em 10 fatores, que explicam 78,9% da variância entre todos os setores censitários do BCRP. Na Tabela 14 observam-se os fatores retidos que apresentaram acima de 5% da variância explicativa.

Tabela 14 - Fatores retidos e significância explicada para avaliação do IMVS

Fator	Designação	Variância explicada (%)	Variável dominante	Correlação (variável dominante/fator) (%)
1	Infra-estruturas	22,04	Domicílio com coleta de lixo	0,888
2	Renda	13,64	Responsável com renda de 5-10 salários	0,828
3	Idade	6,87	Pessoas acima de 65 anos	0,814
4	Gênero	6,58	Responsável- homem	0,867
5	Domicílio	5,88	Domicílio/área	0,980
6	Moradores	5,18	Morador/domicílio	-0,864

Fonte: Autora (2017)

A Tabela 14 demonstra que o primeiro fator explica 22,04% da variância e reflete principalmente nos serviços de coleta de lixo dos domicílios. Destaca-se que o crescimento desordenado de Teresina, associado ao deficiente sistema de esgotamento sanitário que contempla apenas 17% da capital e a deposição final de lixo (SALLES, 2002; SANTOS *et al.*, 2011; OLIVEIRA e SILVA, 2014). Tal situação não difere para as demais áreas urbanas dos Municípios do BCRP.

O segundo fator explica 13,64% da variância e está relacionado com a renda dos responsáveis por domicílio. Isto reflete na desigualdade social e econômica da área de estudo, onde a maior parcela dos responsáveis por domicílio sobrevive com menos de um salário mínimo. Estes estão concentrados na sua maior parcela no espaço rural, onde a renda familiar é subsidiada pela aposentadoria dos mais idosos ou pelos programas sociais do Governo.

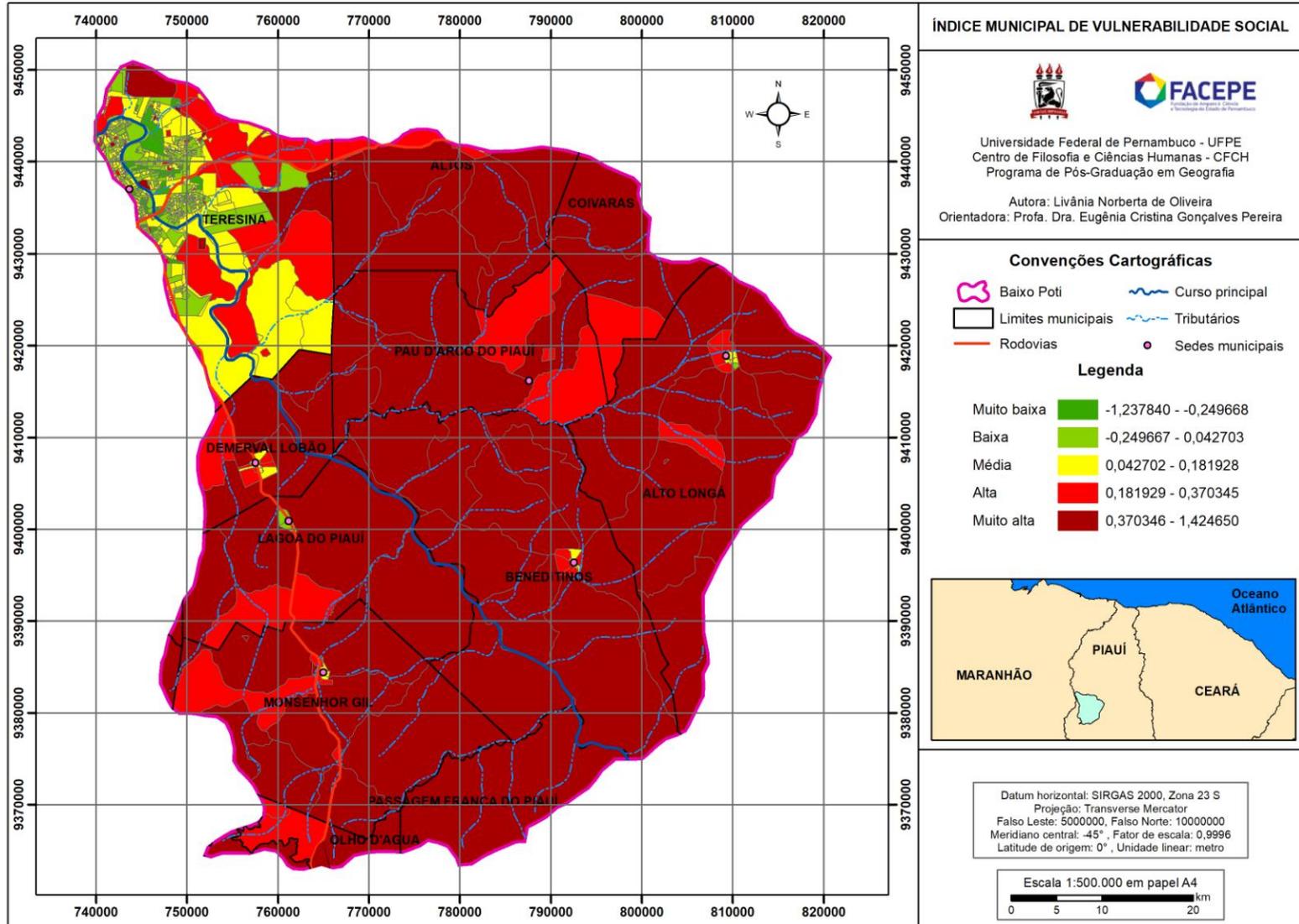
Já o terceiro fator explica 6,87% da variância e relaciona-se com o grupo de pessoas acima de 65 anos. A população idosa está mais concentrada nas áreas rurais em contraste com a população mais jovem, predominante nas áreas urbanas que também concentra a maior

parcela da população economicamente ativa, segundo dados do IBGE (2010). Tal situação reflete-se numa maior vulnerabilidade social da área rural.

O quarto fator explica 6,58% da variância e está associada ao gênero, tendo como principal variável o homem como responsável pelo imóvel. Já o quinto fator se relaciona a quantidade de domicílio por área e explica 5,88% da variância. Destaca-se que as áreas urbanas concentram a maior parte dos domicílios registrados, apresentando melhor investimento em estrutura de pavimentação e saneamento, em contraste com as áreas rurais do BCRP. Tal realidade influencia o sexto fator que representa 5,18% da variância, associado à quantidade de moradores por domicílio, o que de acordo com o censo demográfico acontece sobretudo também nas áreas urbanas.

Esses fatores realçam os resultados sobre os municípios que compõem o BCRP, como se observa no Mapa 11, que nas áreas urbanas como em Teresina e nas áreas sede dos Municípios apresentam IMVS de muito baixo a moderado, devido tanto a acumulação de poder econômico da população, oferta de infraestrutura e oportunidade de emprego. Esses dados apresentam-se em contraste com as áreas rurais da bacia, que apresentam maior vulnerabilidade social, onde predomina uma população mais idosa e com menor poder aquisitivo.

Mapa 11 - IMVS do baixo curso do rio Poti (Piauí-Brasil)



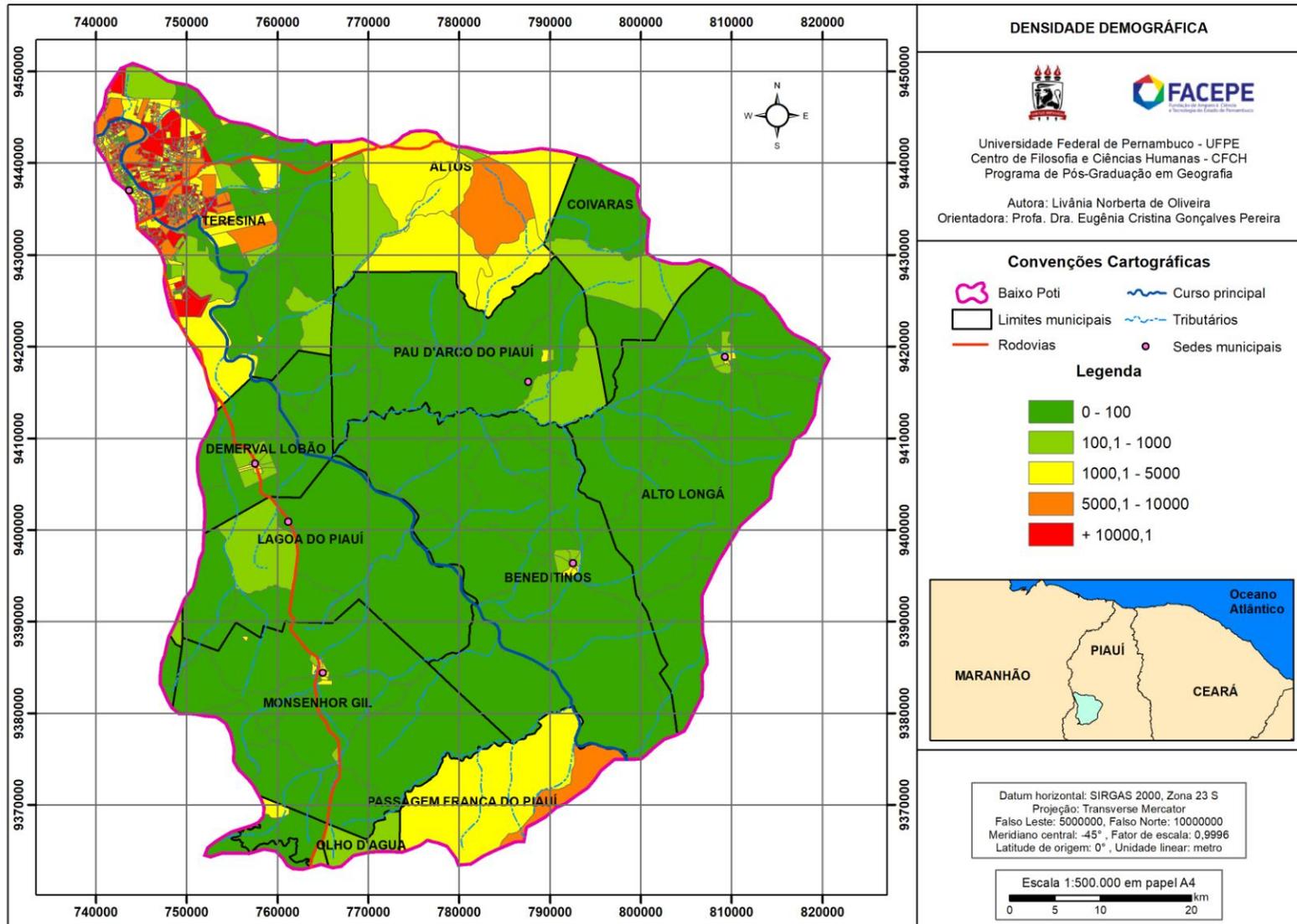
Fonte: elaborado pela autora (2017).

A leitura da vulnerabilidade social no BCRP (Mapa 11), com base no censo demográfico (IBGE, 2010) associada à metodologia de Cunha (2011), permite observar que na área rural do BCRP a classificação do IMVS é alta (13%) a muito alta (79%), em função do menor índice populacional, da reduzida infraestrutura dos domicílios em termos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, do baixo poder econômico da população, do nível de escolaridade e maior envelhecimento da população, tendo em vista que a maior parte da população economicamente ativa se encontra nas áreas urbanas.

Segundo o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010), aproximadamente 9,49 % da população vivia na área rural do BCRP, em contraste com 90,51% da população que habitava a zona urbana. Destaca-se ainda o fato de muitas famílias viverem nas áreas urbanas e se deslocarem para as rurais somente aos finais de semana, ou em período de plantio. Tal situação acontece em virtude de os municípios se localizarem próximo da capital do Estado.

Destaca-se que a cidade de Teresina, por se caracterizar como pólo de saúde, educação e comércio no Estado do Piauí, apresenta a maior densidade demográfica da área em estudo, seguida dos Municípios de Altos e Passagem Franca (Mapa 12). Segundo o Censo demográfico de 2015 (IBGE, 2016), alguns municípios apresentam mais da metade da população vivendo em áreas rurais, como: Alto Longá (49,80%), Monsenhor Gil (48,60%), Lagoa do Piauí (57,90%) e Coivaras.

Mapa 12 - Densidade demográfica do BCRP-Piauí-Brasil



Fonte: elaborado pela autora (2017).

Diante disso, conforme o Mapa 12, verifica-se que a área do BCRP caracteriza-se por ser predominantemente rural (86%), com baixa densidade demográfica e maior vulnerabilidade social em contraste com as áreas urbanas, que apresentam maior densidade demográfica, tais como em Teresina, Altos e Passagem Franca. Entretanto, destaca-se que a cidade de Teresina apresenta vulnerabilidade social de média a muito baixa, em contraste com os municípios de Altos e Passagem Franca que possuem vulnerabilidade social muito alta, em função de apresentar melhor infraestrutura (Figura 20).

Figura 20 - Área urbana de Teresina nas margens do rio Poti em junho 2015



Fonte: Dica nordeste, 2015 (<http://dicanordeste.com.br/teresina-a-menina-do-interior/>)

A antropização dos ambientes no baixo curso da bacia do rio Poti manifesta-se na exploração de duas atividades principais: pecuária e agricultura de subsistência. A pecuária, realizada de maneira extensiva e com predomínio do superpastoreio, é responsável pela degradação do estrato herbáceo. Já a agricultura é feita de maneira itinerante e, com o uso de queimadas, que reduz a biodiversidade e expõe o solo aos efeitos da erosão (Figura 21). Sendo estas as principais fontes de renda e sobrevivência para a população rural.

Figura 21 - Uso de queimada nas margens do rio Poti em Demerval Lobão para plantio de melancia (*Citrullus lanatus*) em julho de 2014



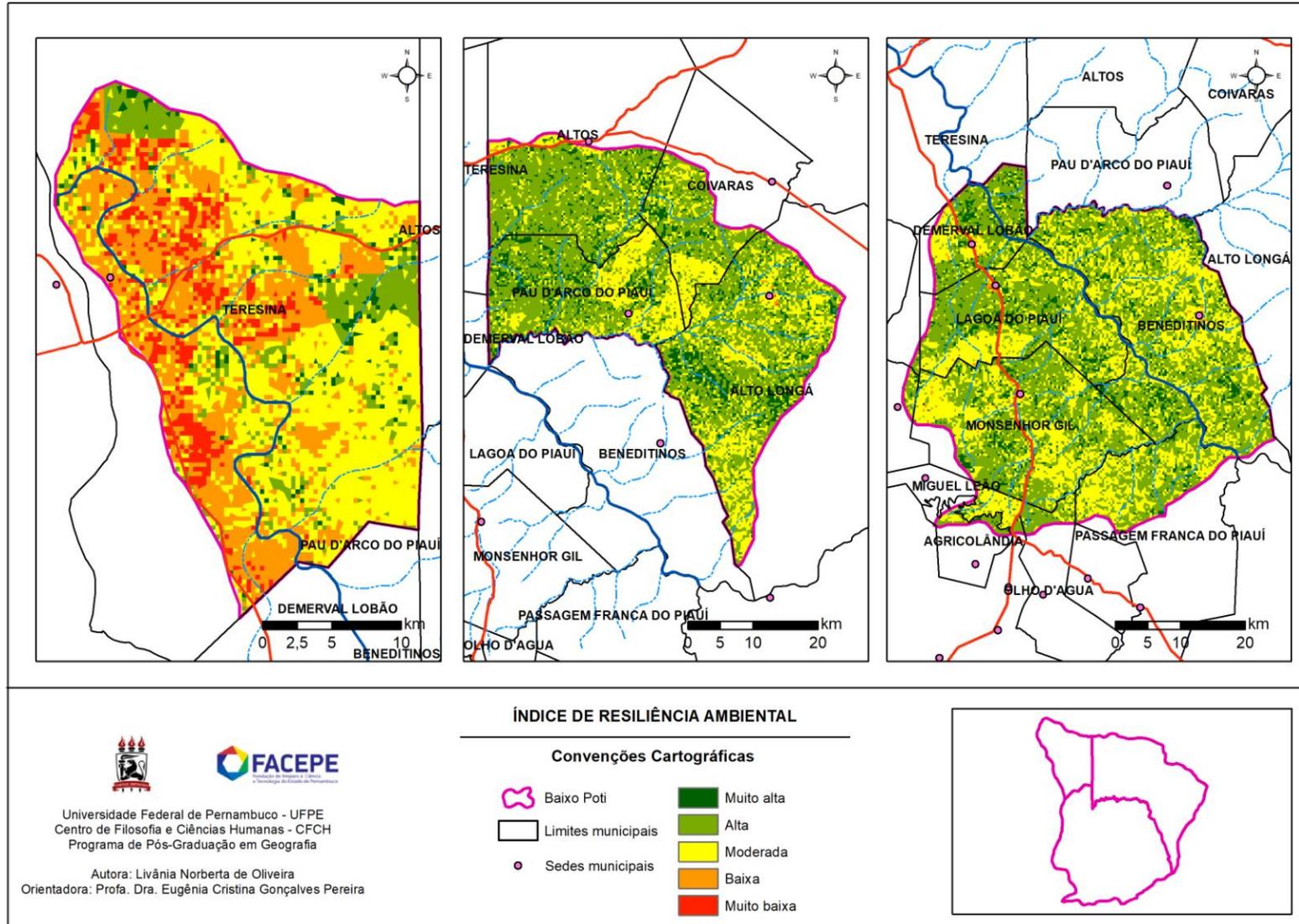
Fonte: Autora (2014)

5.3 CAPACIDADE DE RESILIÊNCIA AMBIENTAL PARA O BAIXO CURSO DO RIO POTI (PIAUI-BRASIL)

Dada a importância de uma resiliência ambiental, que incorpora a capacidade dos sistemas sociais e da natureza, por serem integrados. Assim, cada vez mais, os pesquisadores estão abordando essa correlação (Fiksel, 2003, 2006; Mu *et al.*, 2011; Francis & Bekera, 2014). Neste contexto, para alcançar os objetivos propostos fez-se o cruzamento dos resultados do IRN (correlação entre 1985 e 2015) com o IMVS do baixo curso do rio Poti, conforme se observa no Mapa 13.

Para melhor interpretação do Índice de Resiliência Ambiental (IRA) da área, fez-se uma subdivisão espacial em três partes, a primeira correspondente a área mais urbanizada do BCRP representada pela Capital Teresina. A segunda subdivisão corresponde à parte N-NE do BCRP que possui maior IRN em função de estar mais preservada, envolvendo os municípios de Alto Longá, Pau D'Arco do Piauí, Altos e Coivaras. A terceira subdivisão corresponde a área S-SO do BCRP, envolvendo as áreas de menor IRN, a qual inclui os municípios de Beneditinos, Monsenhor Gil, Lagoa do Piauí e Demerval Lobão.

Mapa 13 - Índice de resiliência ambiental do baixo curso do rio Poti-Piauí.



Fonte: Elaborado pela autora (2107).

Observa-se na primeira subdivisão, que o IRA na cidade de Teresina corresponde como moderado (45%), baixo (32%) e muito baixo (9%), apresentando com isso tendência regressiva da capacidade de resiliência ambiental, quando há pouca ou nenhuma condição do ambiente se recompor, em detrimento das pressões sofridas em função de seu crescimento desordenado. Tal circunstância, está associada a estrutura urbana que apresenta maior densidade demográfica e deficiente sistema de esgotamento sanitário, comprometendo a saúde do ambiente e conseqüentemente da população.

Na segunda subdivisão do Mapa 13, correspondente a parte Norte do BCRP, na área dos municípios de Alto Longá, Pau D'arco do Piauí, Altos e Coivaras o IRA classifica-se de moderado (31%) a alto (56%), chegando a alcançar índice muito alto (13%) entre a área SO de Altos e Pau D'arco do Piauí em função do maior índice de vegetação. Observa-se esta similaridade com a terceira subdivisão, correspondente aos municípios de Demerval Lobão, Beneditinos à Monsenhor Gil, parte S-SO do BCRP, onde o IRA varia de moderado (39%) a alto (52%). Correspondendo assim em ambas subdivisões uma capacidade de resiliência ambiental progressiva, quando há condição do ambiente se recompor, diante das pressões sofridas pelo ser humano ou não. Todavia, verifica-se uma tendência maior em tornarem-se moderada, em detrimento do deficiente sistema de gestão pública da área para a conservação e manejo sustentável dos recursos naturais, principalmente a vegetação do tipo cerrado predominante em ambas subdivisões.

Destaca-se que a área do BCRP caracteriza-se por ser predominantemente rural, como se observa na Tabela 12 (Página 91) para a população dos municípios de Lagoa do Piauí (57,90%), Pau D'arco do Piauí (86%) e Coivaras (69,50%), onde a atividade agrícola é a principal fonte de renda e sobrevivência para a população local. Na Tabela 15 observam-se as áreas plantadas por cultura permanente e temporária entre o período de 1985 e 2015.

Tabela 15 - Área plantada de culturas permanentes e temporária nos anos de 1985 e 2015 por município do BCRP

Municípios	Área plantada Cult. permanente 1985 (ha)	Área plantada Cult. permanente 2015 (ha)	Área plantada Cult. Temporária 1985 (ha)	Área plantada Cult. Temporária 2015 (ha)
Altos	788	659	10.549	2.774
Teresina	1.324	676	9.997	16.041
Demerval Lobão	265	101	2.498	1.220
Beneditinos	205	240	3.815	2.071
Lagoa do Piauí	-	83	-	809
Pau D'Arco do Piauí	-	165	-	1.138
Miguel Leão	144	33	2.868	1.054
Monsenhor Gil	341	290	6.355	3.499
Passagem Franca	-	255	-	1.222
Coivaras	-	855	-	496
Alto Longá	204	412	10.705	2.805
TOTAL	3.271	3.769	46.787	33.074

Fonte: IBGE (2016)

Observa-se na Tabela 15 que a área plantada por cultura temporária representa maior extensão em comparação a área de cultura permanente. No entanto, houve uma redução da área plantada por cultura temporária no BCRP entre 1985 e 2015 de aproximadamente 29,31%, sendo os Municípios de Teresina e Monsenhor Gil os de maior representatividade neste setor. Tal circunstância está associada tanto pelo êxodo rural entre o período, como pelo esgotamento do solo devido ao manejo inadequado que compromete sua recuperação.

As culturas do tipo temporária cultivada na área de pesquisa são de milho, melancia, feijão, arroz, cana de açúcar, mandioca. Já o cultivo de manga e banana são culturas agrícolas do tipo permanente, conforme se observa na Tabela 13 (Página 92)

Destaca-se que devido a emancipação de novos municípios como: Lagoa do Piauí, Pau D'Arco do Piauí, Passagem Franca e Coivaras, que apresentam uma população predominantemente rural, a área total de cultura permanente aumentou 15,2% no BCRP.

A cultura temporária apresenta várias contradições de acordo com Vital (2007) e Delamare *et al.* (2017), pois apesar de seu valor econômico a prática pode acarretar impactos ao meio físico, que, envolvem: erosão do solo, contaminação dos recursos hídricos pelo uso de agrotóxico e à biodiversidade devido à implantação de monocultura. Destaca Laliberte *et al.*, (2010), que a intensificação da extração de recursos e o uso da terra ocasionada pelas pressões antropogênicas aumenta a vulnerabilidade dos ecossistemas.

Verificou-se *in loco* que o cultivo é feito por pequenos agricultores, com a utilização de métodos rudimentares de baixa eficiência, utilizando a cultura de vazante, para subsistência das famílias e comercialização nos mercados públicos dos municípios.

Cabe destacar que culturas como o feijão e mandioca perdem mais solo e água por erosão do que o arroz, que por sua vez perde mais que o milho e a cana de açúcar. Para tanto, o parcelamento do solo para o cultivo dessas culturas, seria uma forma de reduzir as perdas do solo por erosão, considerando-se a largura das faixas determinadas conforme o declive do terreno, o tipo de solo e a cultura (EMBRAPA, 2011).

Vogel, Scherer-Lorenzen e Weigelt (2000) em estudo sobre a resistência e resiliência de pastagem na Suécia, após período de seca associando as condições do solo, averiguaram que a resistência e resiliência das pastagens à seca no verão são altamente dependentes da intensidade da gestão, e em parte, a riqueza das espécies. Verificaram que a frequente retirada da vegetação para os habituais roçados, reduziu a resistência das pastagens contra a seca, entretanto, aumentou a resistência das espécies. Neste estudo a resiliência, foi positivamente relacionada com a resistência das espécies devido à gestão adequada na área analisada. Verificou também que a baixa frequência de corte dar maior resistência da pastagem contra a seca.

Neste contexto, correlacionando com as condições de manejo no baixo curso do rio Poti, verifica-se que a inferência dos dados analisados dos Mapas 7, 8, 9 e 10 por meio do geoprocessamento que possibilitou a integração dos aspectos naturais e sociais no Mapa 12, contribui para uma gestão mais intensa numa bacia hidrográfica, como forma de manter a sustentabilidade do ambiente e da sociedade envolvida.

6 CONCLUSÃO

As análises e observações das informações e dados levantados nesta pesquisa nos permitem compreender de forma integrada a relação entre o ambiente físico e antrópico, desenvolvidos a partir do IRN e do IMVS, que demonstrara ser eficazes no diagnóstico e aplicação de medidas preventivas na manutenção sustentável do ambiente, no recorte geográfico de uma bacia hidrográfica, e são importantes fatores a se considerar na avaliação da capacidade de resiliência do ambiente e sua gestão.

O modelo de análise fatorial utilizado permitiu avaliar a vulnerabilidade social da bacia hidrográfica correlacionando características socioeconômicas e de infraestrutura entre diferentes áreas, sendo útil como ferramenta de gestão territorial.

O IMVS demonstrou maior vulnerabilidade social nas áreas rurais, em função do menor índice populacional, da reduzida infraestrutura dos domicílios em termos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, da população ter menor renda, do nível de escolaridade e maior envelhecimento da população, tendo em vista que a maior parte da população economicamente ativa se encontra nas áreas urbanas.

Na área urbana de Teresina o IMVS apresentou-se de moderado a muito baixo em decorrência da melhor infraestrutura existente. Entretanto, apresentou menor IRN por sua expansão e exploração dos recursos naturais no decorrer do tempo não ter ocorrido de forma a manter a sustentabilidade e resiliência do ambiente.

Na área urbana a capacidade de resiliência do ambiente demonstra-se regressiva, variando de moderada a muito baixa, por haver maior pressão sobre os recursos naturais existentes e maior densidade demográfica, diminuindo sua capacidade de recuperação diante das formas de uso e ocupação do solo. Assim, para melhorar a capacidade de resiliência do ambiente nesta zona, é necessária uma gestão compartilhada dos recursos naturais, que envolva intervenções no uso e ocupação desordenada do solo, da drenagem urbana e poluição do rio e do lençol freático, bem como, de conscientização do uso desses recursos pela sociedade, através da educação ambiental.

Constatou-se que a área do baixo curso do rio Poti apresenta-se predominantemente rural (86%), nesta zona a resiliência ambiental demonstra-se progressiva, por serem áreas com menor densidade demográfica e maior extensão territorial utilizado principalmente para agricultura temporária.

As principais culturas agrícolas existentes no BCRP são de arroz, feijão, melancia, manga, cana de açúcar, mandioca e milho. Algumas delas são desenvolvidas pela técnica de vazante nas margens do rio Poti, em Áreas de Proteção Permanente, determinadas pelo código florestal brasileiro (BRASIL, 2012), comprometendo assim, a resiliência do ambiente ao longo do tempo caso não seja feita melhor planejamento do manejo dessas áreas.

Diante disso, constatou-se que a supressão da vegetação ribeirinha para o cultivo da agricultura de vazante ao longo do tempo, provoca a perda de grandes volumes de solo em taludes do rio, o que traz prejuízos ambientais como assoreamento do rio, com a redução da macro e microbiota que habita dentro e fora do rio, comprometendo os benefícios ambientais promovidos pelo rio Poti, que garante a sua necessária resiliência e equilíbrio dinâmico.

Constatou-se também que no baixo curso do rio Poti a vegetação tem forte influência na recuperação do ambiente, que ocupa áreas ecotonais, com diversidade significativa entre o cerrado, a caatinga e a floresta. Sendo a vegetação do tipo cerrado e floresta de babaçu de maior representatividade nas áreas que apresentaram IRA de alto a muito alto, sendo por tanto fator predominante para a funcionalidade e resiliência do ambiente.

Verifica-se que a maneira sustentável de manejo do solo com o propósito de manter sua capacidade de resiliência, deve ocorrer de forma que a demanda de insumos não exceda a sua capacidade natural de regeneração, mesmo com o uso de técnicas rudimentares. Outra ação necessária para alcançar a resiliência do ambiente é buscar controlar a erosão, com práticas que reponham os elementos nutritivos, controlem a combustão de matéria orgânica, diminuam a lixiviação, controlando, as causas de depauperamento do solo.

Constatou-se que a perenidade do rio Poti no seu baixo curso está cada vez mais comprometida, com tendência a diminuir, em detrimento tanto dos barramento de seus tributários, quanto pelo aumento intensivo da exploração das águas subterrâneas e das nascentes, que são considerados fatores relevantes para a manutenção do ecossistema aquático e resiliência ambiental.

Assim, diante das práticas de uso e manejo dos recursos naturais na área do baixo curso do rio Poti, constata-se ser possível a resiliência do ambiente, desde que haja um plano de gestão que trate do controle preventivo desses recursos. Estes devem estar associados ao manejo adequado do solo, da vegetação e da água superficial e subterrânea, tanto para a conservação das espécies, como para a qualidade da água e dos serviços ecossistêmicos. Com o propósito de permitir ao ambiente a capacidade de se recompor sem comprometer sua funcionalidade. Dessa forma, um ambiente saudável sustenta a vida e melhora os padrões de qualidade ambiental e social.

Assim, a análise temporal do IRN do baixo curso do rio Poti, demonstrou ser uma eficaz ferramenta para gestão ambiental, por dar um diagnóstico da bacia para subsidiar ações que favoreçam a resiliência do ambiente. Foi também capaz de apontar que a utilização de técnicas sustentáveis de manejo do solo e da vegetação pode favorecer a recuperação do ambiente de curto a médio prazo, sendo, contudo, necessário o acompanhamento de profissionais para que se alcance a recuperação adequada dos recursos naturais e a resiliência do ambiente.

Constata-se dessa forma, a importância do planejamento e gerenciamento do manejo sustentável do solo e da retirada da vegetação, com o propósito de permitir ao ambiente a capacidade de se recompor sem comprometer sua funcionalidade.

Dessa forma, a análise do meio ambiente a partir da avaliação da sua capacidade de resiliência frente às formas de uso e ocupação, é um importante meio para se atingir a sustentabilidade numa bacia hidrográfica, sendo eficaz sua aplicação na gestão do meio ambiente, por demonstrar a capacidade ao longo do tempo do ecossistema se recuperar dos distintos impactos, tanto naturais, quanto antrópico.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. *Estudos Avançados*. São Paulo.v.3, n.5, Jan./Apr, 1989. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-0141989000100002&script=sci_arttext>. Acesso em: Agosto. 2017.
- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). *Relatório da consultoria referente à apreciação atualizada do Código Florestal para a Seção São Paulo*. São Paulo, 2012.
- ADGER, W. N.; BROOKS,N; KELLY,M.; BENTHAM,G.; AGNEW,M.; ERIKSEN,S. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Technical Report 7, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich. 128 p., 2004
- ADGER, W.N.; HUGHES, T. P.; FOLKE,C.; CARPENTER,S.R.; ROCKSTRÖM,J. Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science* 309: p.1036–1039, 2005.
- ADGER, W.N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, n.16, p.268-281, 2006
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. 2009. Disponível em: < http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/rh_parnaiba.htm>. Acesso em: fevereiro de 2015.
- AGUIAR, T. C. ; *A Concepção sociedade/natureza redimida pela questão ambiental contemporânea*. Geo UERJ - Ano 12, nº. 21, v. 2, 2º semestre de 2010. Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/viewFile/1477/1237>>. Acesso em: Junho de 2016.
- ALLENBY, B.; FINK, J. Towards Inherently Secure and Resilient Societies. *Science* n.309, p.1034–1036, 2005
- ALMEIDA, L.Q. de; CARVALHO, P.F.de. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um (des) caso histórico. *Caminhos de Geografia Uberlândia* . v. 11, nº. 34, p. 145 – 161. jul, 2010.
- ALMEIDA, L. Q. de. *Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos. Bacia hidrográfica do rio Maranguapinho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará*. Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro, Tese de Doutorado, 2010. 278p.
- ANDERSON, R.; PETERSON,A.T.; GÓMEZ-LAVERDE,M. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos* n.98, p.3–16, 2002
- ANSELMO, M. da. G. V. Caracterização e classificação de Argissolos na Reserva Legal Riacho Pacaré, Rio Tinto – PB. 2011. 57f. *Trabalho de Conclusão de Curso* (Graduação em Geografia)- Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2011.

ARAÚJO, J. L. L. (org). *Atlas escolar do Piauí: geohistórico e cultural*. João Pessoa: Grafset,, 2006.

ASEFA, T.; CLAYTON, J.; ADAMS, A.; ANDERSON, D. Performance evaluation of a water resources system under varying climatic conditions: Reliability, Resilience, Vulnerability and beyond. *Journal of Hydrology*. N. 508. Pag. 53–65. 2014

BARROS, J. S. *Compartimentação geoambiental no Complexo de Campo Maior, Piauí: uma área de tensão ecológica*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2005. 302f

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7ª.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.

BERTRAND, G. *Paisagem e Geografia Física Global*. Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra. N.13. Instituto de Geografia. USP. São Paulo, 1971.

BIRKMANN, J.; VON TEICHMANN, K. Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges-scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science*. vol. 5, n.2, p.171-184, 2010

BISPO, P.da C.; ALMEIDA, C.M. de; VALERIANO, M de M.; MEDEIROS, J.S. de; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011

BISSON, P.A.; DUNHAM, J.B.; REEVES, G.H. Freshwater ecosystems and resilience of Pacific salmon: habitat management based on natural variability. *Ecology and Society* v.14, n.45, 2009. Disponível em: < URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art45/>>. Acesso em: jul de 2016.

BORTOLETTO, K. C; FREITAS, M.I.C. Análise fatorial na seleção de inidacores para análise de vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso para dois municípios do litoral paulista In: _____ M.I.C de FREITAS; M.A.LOMBARDO; A.A.ZACHARIAS (org). *Anais: Encontro Internacional de vulnerabilidade e riscos socioambientais*. 1ª Ed. Rio claro: UNESP/IGCE. V.1, p 483-494, 2015

BRASIL. Código Florestal Brasileiro. *Lei Federal nº 4771*, de setembro de 1965

_____. *Lei Nacional de Recursos Hídricos. Nº 9.433*, de janeiro de 1997.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos. *Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba*. Brasília, 2006. 184 p.

_____. *Resolução CONAMA nº 303*, de 20 de março de 2002.

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. Sistema de classificação fuzzy para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. *Planta daninha*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 359-364, June 2006. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582006000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em Outubro de 2017.

BROOKS, Nick, ADGER, Neil W., KELLY, Mick P. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*. Part A. vol. 15, p.151–163. 2005

BROWN, T. A. *Confirmatory factor analysis for applied research*. New York: The Guilford Press. 462 p., 2006

BUCKLE, P., MARSH, G., & SMALE, S. New approaches to assessing vulnerability and resilience. *Australian Journal of Emergency Management*, num. 15, p.8–14. 2000.

BURKHARD, B.; FATH, B.D.; MÜLLER, F. Adapting the adaptive cycle: hypotheses on the development of ecosystem properties and services. *Ecological Modelling*, 222, p. 2878–2890, 2011.

BURBY, By R. J.; DEYLE, R.E.; GODSCHALK, D.R.; OLSHANSKY, R.B. Creating hazard resilient communities through land-use planning. *Nature Hazards Review*. v.1. p.99-106. 2000

CAMPOS, G. E. P. *et al.* Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature* . N^o.350.Vo l. 494. February, 2013. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v494/n7437/full/nature11836.html>> . Acesso em Nov. 2014

CATTANEO, D. No espaço da liberdade a (re)construção da Natureza. Um ensaio sobre a relação Geografia, Ambiente e Anarquismo. In: Suertegaray, D.M.A. (org.). *Cadernos Geográficos: Notas sobre Epistemologia da Geografia*. Florianópolis: UFSC/Centro de Filosofia e Ciências Humanas/Dept^o de Geociências, maio 2005, p.38-47.

CARNEIRO, R.G.; MOURA, V.P.R.S.; SILVA, V. de P. R. da; SILVA JUNIOR, R. S.; ANDRADE, A. M. D. de; SANTOS, A. B. dos. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente da Mata Atlântica. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.1, p. 99-108, 2014

Carta de Pero Vaz de Caminha. Disponível em: <http://educaterra.terra.com.br/voltaire/500br/carta_caminha.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

CASTRO, A.A.J.F. Cerrados do Brasil e do Nordeste: produção, hoje, deve também incluir manutenção da biodiversidade. In: Benjamin, A.H.; SÍCOLI, J.C.M. (eds.). *Agricultura e meio ambiente*. São Paulo: IMESP. pag.79-87. 2000

CASTRO, A.A.J.F., MARTINS, F.R., FERNANDES, A.G.. The woody flora of cerrado vegetation in the state of Piauí, northeastern Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*. Edinburgh. Vol.55, n.3, pag.455-72. 1998. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/edinburgh-journal-of-botany/article/the-woody-flora-of-cerrado-vegetation-in-the-state-of-piaui-northeastern-brazil/E80BD6338C97EE957BAEA4AC8777FF1C>> Acesso em: jun, 2016

CHANDER, G., MARKHAM, B. L., BARSÍ, J. A., Revised Landsat 5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 4, no. 3, pp. 490–494, Jul. 2007.

CHAVES, L.H.G.; BRITO, M. E. B.; CARVALHO, A. de P.; DANIEL,.; RIBEIRO, S.; SANTOS, R. T. dos. Copper adsorption in Plinthosol samples from Piauí State, Brazil, with different characteristics. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, May-June, 2009, Vol.13(3), p.226

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p. _____ . *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher. 236p., 1999

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. *Água*, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011.

CORSEUIL, C. W. CAMPOS, S. Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, 2007, INPE, p. 2471 – 2478.

COSTA, F.M; BACELLAR, L. de A.P. Caracterização Hidrogeológica de Aquíferos a Partir do Fluxo de Base. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 15, nº.3, Jul/Set, 2010, p.173-183.

CUNHA, L.; MENDES, J. M.; TAVARES, A.; FREIRIA, S. *Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos. O desafio das escalas*. In: Trunfos de uma Geografia Activa: Desenvolvimento Local, Ambiente, Ordenamento e Tecnologia. IUC, p. 627-637, 2011

CUPPENS, A.; SMETS I, WYSEURE G. Definition of realistic disturbances as a crucial step during the assessment of resilience of natural wastewater treatment systems. *Water Scienc. Technol.* n.65, 1506-1513, 2012.

CUTTER, S. The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographer*. n. 93, p.1-12, 2003

CUTTER, Susan L. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*. N°.18.. 2008. p. 598–606

CUTTER, S. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, n.93, junho 2011, 59-69, 2011.

DINIZ, J. M. T.; SOUZA, E.P de; ARANHA, T.; MARACAÇA, P.B. Avaliação da difusividade térmica do solo de Campina Grande-PB-Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*. v. 9, p. 55-60, 2013

DWYER, A.; ZOPPOU, C.; NIELSEN, O.; DAY, S.; ROBERTS, S. *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Geoscience Australia Record. P.102, 2004. Disponível em: <file:///C:/Users/livania/Downloads/GA4267-IdentifyingRisks.pdf>. Acesso em: julho de 2017

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.(Brasil).
Manual de métodos de análise de solo. 2^a.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

_____. *Solos do Nordeste*. Recife, 2014

_____. Embrapa Semiárido. *Sistemas de Produção*, 6. Versão Eletrônica. 2010. Disponível em:
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/solos.htm>>. Acesso em: 15 de abril de 2015.

FARRALL, M. H. O conceito de Resiliência no contexto dos sistemas socio-ecológicos. *Ecologi@*. n.6, p.50-62, 2012.

FEITOSA, S.S. Vulnerability environmental and flood risk in rio Poti, Teresina, Brazil. *Revista Geama*, v.2, n.2, Apr/May/Jun, 2016.

FERREIRA, J.; FERREIRA, M. A. H. *Bacias Hidrográficas e Gestão Ambiental*. Bagé: URCAMP, 97 p., 2003.

FERREIRA, A. G. F.; MELLO, N. G. da S. 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. Ceará, 2005.

FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E.A. *Mandioca no Cerrado : orientações técnicas*. Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, 208 p , 2011.

FIKSEL, J. Designing resilient, sustainable, systems. *Environmental Science and Technology*, v. 37, n. 23, p.5330–5339, 2003.

FIKSEL, J. Sustainability and resilience: toward a systems approach. *Sustainability: Science Practice and Policy*. v. 2, n. 2, p.14–21, 2006.

FOLKE, Carl,. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. No.16, vol.3, P. 253–267. 2006

FOLKE,C.;CARPENTER,S.;ELMQVIST,T.;GUNDERSON,L.;HOLLING,C.S.;WALKER. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation. *Ambio* v.31, n.5, p.437–440, 2002.

FRANCIS, R., BEKERA, B. A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*. N.121, p.90-103, 2014

FRAZIER, T. G.; WOOD,N.; YARNAL,B;BAUER, D. H. Influence of potential sea level rise on societal vulnerability to hurricane storm-surge hazards, Sarasota County, Florida. *Applied Geography*, v.30,n° 4, p.490-505, 2010.

FRAZIER, T. G.; THOMPSON, C. M. e DEZZANI, R. J.A framework for the development of the SERV model: A Spatially Explicit Resilience-Vulnerability model. *Applied Geography*. N. 51, p.158-172, 2014.

FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartography of the socio-environmental vulnerability: convergences and differences from some experiences in Portugal and Brazil. *Brazilian Journal of Urban Management*. v. 5, n. 1, p. 15-31, jan./jun. 2013

FREMIER, A.K. ; KIPARSKY, M.; GMUR, S.; AYCRIGG, J.; CRAIG, R.K.; SVANCARA, L.K.; GOBLE, D.; COSENS, B.; DAVIS, F.W.; SCOTT, J.M. A riparian conservation network for ecological resilience. *Biological Conservation*. N.191, p.29–37, 2015.

GALL, M. Indices of social vulnerability to natural hazards: A comparative evaluation. *Degree of Doctor of Philosophy*. Department of Geography University of South Carolina. 2007.

GASPARIN, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S DE L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, no. 1, p. 107-115, Jan./March, 2005

GODOY, V.N de, CRUZ, R.C. self-management of water resources - case study of river basin Santa Maria- RS. *Ciência e Natura*, Santa Maria v.38 n.2, 2016, Mai.- Ago. p. 980 –997

GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S.; LIGHT, S. S. Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions. *The Journal of Wildlife Management*, v. 61, n.4, p.1437-1439, 1997.

HAIR Jr, J. F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Editora Bookman, 662 p., 2005

HASHIMOTO, Tsuyoshi. Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation. *Water Resources Research*, V. 18, N^o. 1, P. 14-20, FEBRUARY, 1982

HOLLING, C.S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.4., p 1–23, 1973.

HOLLING, C.S. Engineering resilience versus ecological resilience. *Eng. Within Ecol. Constraints*. p.31-43, 1996. Disponível em: < <https://www.nap.edu/catalog/4919/engineering-within-ecological-constraints> >. Acesso em Marco 2017.

HOQUE, Y.M.; TRIPATHI, S.; HANTUSH, M.M.; GOVINDARAJU, R.S. Watershed reliability, resilience and vulnerability analysis under uncertainty using water quality data. *Journal of Environmental Management*. N^o109, p.101–112. 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) . *Censo demográfico de 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>> . Acesso em: Julho de 2015.

_____. (IBGE). *Produção Agrícola Municipal 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

IORIS, A.A.R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *Journal of Environmental Management*, vol. 88, p. 1190-1201, 2008.

JUAN-GARCÍA,P. ; BUTLER D.; COMAS, J.; DARCH ,G.; SWEETAPPLE, C.; THORNTON, A.; COROMINAS, L. Resilience theory incorporated into urban wastewater systems management. State of the art. *Water Research*. N.115, p.149-161, 2017.

KASPERSON, R. *Human Vulnerability to Global Environmental Change: The State of Research*. Fifth Annual IIASA-DPRI Forum Integrated Disaster Risk Management, Innovations in Science & Policy, p.14–18, September 2005,

KENDRA, J. M.; WACHTENDORF, T. Elements of Resilience After the World Trade Center Disaster: Reconstituting New York City's Emergency Operations Centre. *Disasters*. v. 27, n. 1, p.37–53, 2003.

KLEIN, R.J.T.; NICHOLLS, R.J.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: how useful is this concept?. *Environmental Hazards*. Vol. 5.P. 35–45. 2003

LEPSCH, I.G. *formação e conservação dos solos*. São Paulo. Oficina de textos, 2002

LEFF, E. *epistemologia ambiental*. São Paulo, Cortez Editora, 240 p, 2001.

LEI, Y.; LUBO,G.;HUAXING,B.;QINGKE,Z.; XIAOYAN,.W. Spatio-temporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. *Procedia Environmental Sciences*, v.8, p.153-160, 2011.

LIMA, Iracilde M. de M. F.; AUGUSTIN, Cristina H. R. R. Bacia Hidrográfica do Rio Poti: dinâmica e morfologia do canal principal no trecho do baixo curso . *Revista Geonorte*. V.5. Nº 20, 2014

LORENZO-SEVA, U.; TIMMERMAN, M. E.; KIERS, H.A. The hull method for selecting the number of common factors. *Multivariate Behavioral Research*, n.46, p.40-364, 2011.

MAROTTA, H; SANTOS, R. O. dos; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. *Revista Ambiente e sociedade*. v.11, nº1. Campinas. Jan./Jun, 2008.

MARTINS, S. G.; SÁ,M.A.C. DE; SILVA,M.L.N.; LIMA,J.M. DE; OLIVEIRA,A.H.; NÓBREGA,J.C.A.; AVANZI,J.C. Soil erosion as a result of phosphate fertilization on estimated aggregate stability in a typic Acriferric Red Latosol . *Semina: Ciências Agrárias*, Vol.32(4), pp.1297-1306, October, 2011.

MARTINEZ, L., & FERREIRA, A. *Análise de dados com SPSS: primeiros passos*. Lisboa: Escolar editora, 178 p., 2010

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, V. 24, , p. 57-79, 2012

- MEJIA SANCHEZ, E. C. Controle por aprendizado acelerado e neuro-*fuzzy* de sistemas servo-hidráulicos de alta frequência. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)* – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- MEIRELLES, M.S.P.; MOREIRA, F.R. & CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M.S.P.; CAMARA, G. & ALMEIDA, C.M., eds. *Geomática: Modelos e aplicações ambientais*. Brasília, Embrapa, Informação Tecnológica, 2007. 593p.
- MELO, E.T. Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia do riacho dos Cavalos – Crateús – Ceará. *Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)* – Programa Regional de PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Fortaleza: 2008. 123p.
- MENDES, J.; TAVARES, A.O.; CUNHA, L.; FREIRIA, S. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, n.93, p. 95-128, junho 2011.
- MENDONÇA, F. *Geografia e Meio Ambiente*. São Paulo: Ed. Contexto, 1998.
- MENDONÇA, F.; KOZEL, S. *Elementos de epistemologia da geografia contemporânea*. Curitiba: Editora da UFPR, 2003.
- MILNER, A.M.; ROBERTSON, A. L.; MCDERMOTT, M. J.; KLAAR, M. J.; BROWN, L. E. Major flood disturbance alters river ecosystem evolution. *Nature Climate Change*. n. 3, p.137–41, 2013.
- MODDEMEYER, S. Sustainability is dead: long live sustainability. *Water*. N.21, p.12-14, 2015.
- MONTEIRO, C. A. F. *Geossistemas: a história de uma procura*. São Paulo: Contexto, 2000.
- MONTEIRO, C. A. F. Os Geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. *Revista de Ciências Humanas*. Florianópolis, v.14, n.19, p.67-101, 1996.
- MORELLI, S. ; SEGONI, S.; MANZO, G.; ERMINI, L.; CATANI, F. Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy. *Applied Geography*. n. 34, p.205-218, 2012.
- MOREIRA, R. *Geografia serve para desvendar máscaras sociais*. Ed. Vozes, 1982
- MORIN, E. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996.
- MORAES, A. C.R. *geografia pequena história crítica*. 21ª ed. São Paulo: annablume, 2007
- MU, D.; SEAGER, T. P.; RAO, P.S.C.; PARK, J.; ZHAO, F. A resilience perspective on biofuel production. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 7, n. 3, p. 348–359, Mar.2011. Disponível em:<

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.165/epdf>>. Acesso em: junho de 2016

MUGUME, S.N.; GOMEZ, D. E.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water Research*. n.81, p.15-26, 2015. Disponível em:<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415300142>>. Acesso em jun,2016.

MÜLLER, F.; BERGMANN, M.; DANNOWSKI, R.; DIPPNER, J.W.; GNAUCK, A.; HAASE, P.; JOCHIMSEN, M.C.; KASPRZAK, P.; KRÖNCKE, I.; KÜMMERLIN, R.; KÜSTER, M.; LISCHIED, G.; MEESENBURG, H.; MERZ, C.; MILLAT, G.; MÜLLER, J.; PADISÁK, J.; SCHIMMING, C.G.; THEUERKAUF, M. Assessing resilience in long-term ecological data sets. *Ecological Indicators*. Vol. 65, Jun. 2016, P 10–43. Disponível em:<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15006305>>. Acesso em: jul. 2016

MÜLLER, F.; BURKHARD, B.; KROLL, F. Resilience, integrity and ecosystem dynamics: bridging ecosystem theory and management. J.-C. Otto, R. Dikau (Eds.), *Landform – Structure, Evolution, Process Control*. Lecture Notes in Earth Sciences Series, vol. 115, Springer (2010a), pp. 221–242

NUCCI, J. C. *Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano – Um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)*. São Paulo: Humanitas/FAPESP. 236p, 2001.

NUNES, A.; MOREIRA, C.O.; PAIVA, I.; CUNHA, L. S da. territórios da água. CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Coimbra. Portugal, 564p, 2016.

OLIVEIRA, G.de; RANGEL, T.F.; RIBEIRO, M.S.L.; TERRIBILE, L.C.; DINIZ-FILHO, J.A.F. Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: a new approach based on environmentally equidistant records. *Ecography*, n.37, p.637–647, 2014.

OLIVEIRA, L.N; SILVA, C.E. qualidade da água do rio Poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina-PI. *Revista Equador* (UFPI), Vol.3, nº1, p. 128 – 147. jan./jun., 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Living with Risk A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. 624p., 2004. Disponível em:
<http://www.unisdr.org/files/657_lwrsp.pdf>. Acesso em: jul. 2015

PAULA, E.M.S, SOUZA, M.J.N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. *Anais*. Florianópolis: Instituto de Pesquisas Espaciais -INPE, p. 2979-2984, 2007.

PATON, D. & BISHOP B. Disasters and communities: Promoting psychosocial well-being. In D. PATON and N. Long (Eds.) *Psychological aspects of disaster: Impact, coping, and intervention*. Palmerston North, Dunmore Press. 1996.

- PATON, D. *Community Resilience: Integrating Hazard Management and Community Engagement*. Proceedings of the International Conference on Engaging. Launceston, 2005.
- PASSET, R.A. *Co-gestão do desenvolvimento econômico e da biosfera*. Tradução de Ferreira, A. D. In: Cadernos de desenvolvimento e Meio Ambiente. UFPR, n.1, 190p. 1994
- PASQUALI, L. *Análise fatorial: um manual teórico-prático*. Brasília: Editora UnB, 1999
- PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. *Análise de dados para ciências sociais a complementaridade do SPSS*. 6ª Ed..Lisboa: Edições Sílabo Lda., 2014.
- PIMM, S.L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature* v.307, p.321–26, 1984
- PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). *Revista do Departamento de Geografia – USP*, v. 23, n. 2012, p. 4–26, 2012.
- PINHEIRO, R.A.B. *Análise do processo de degradação/desertificação na bacia do Riacho Feiticeiro, com base no DFC, município de Jaguaribe-Ceará*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 129p., 2011
- PINHEIRO, L. R. DO Ó. *Análise da fragilidade ambiental no município de Aracoiaba, Ceará – Brasil: subsídios ao planejamento territorial*. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 165 p., 2017
- PIONKE, H.B.; GBUREKR, W.J.; SCHNABELA, R.; SHARPLEY, N.; ELWINGER, F. Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed. *Journal of Hydrology*. Nº 220, p. 62-73, 1999.
- PRADO, H. *Manual de classificação de solos do Brasil*. Jaboticabal, FUNEP, 1993. 218p.
- RAMOS, A; CUNHA, L & CUNHA, P.P. Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal: Figueira da Foz – Nazaré. *Geo-Eco-Trop*. n.38, p. 33-44, 2014.
- RIBEIRO, A.I. ; LONGO, R.M.; TEIXEIRA FILHO, A.; MELO, W. J. de. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta Amazônica, empregando métodos geostatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo. *acta amazônica*. V. 36, n.1, p.83 – 90, 2006
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, n. 8, p. 63-74, São Paulo, USP, 1994.
- ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento Ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 12, p. 89 – 121, 1998.
- RIGNEL, D. G. de S.; CHENC, G.P.; LUCAS, C.A. Uma introdução a Lógica Fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, v. 1, n. 1, p. 17-28, 2011. Disponível em: < http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/uma_introducao_a_logica_fuzzy.pdf>. Acesso em: junho de 2016.

RIVAS, M. P. (coord.). *Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Parnaíba*. Rio de Janeiro, IBGE. 1996.

SALLES, M. do S. T. M.; ALBURQUERQUE, L.B. *Teresina e sua condição urbana*. Teresina, 2002. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/mesteduc/eventos/iiencontro/GT-15/GT-15-02.htm>> Acesso em: Abr. de 2015.

SALTON, J.C & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n.19, p.313-319, 1995.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, D.D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). *Revista Brasileira de Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, p. 670-679, 2011.

SANTOS, F. de A. dos; AQUINO C. M. S. de. estimativa da erodibilidade dos solos em área suscetível à desertificação, no estado do Piauí: o caso dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí. *Revista GeoPantanal*. v. 10, n. 19, 2015.

SANTOS, W. A.; ARAÚJO, H. M. de. Geologia e Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Cotinguiba-SE. *boletim de geografia*. Vol.31, No.3. 2013. Disponível em:< <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/viewFile/17537/12612>>. Acesso em: jun., 2106

SANTOS, E. S. dos; MOTA, S.; SANTOS, A.B dos.; MONTEIRO, C.A.B; FONTENELE, R.M.M. Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura. *Engenharia Sanitaria Ambiental*. v.16, n.1 Rio de Janeiro, Mar. 2011

SANTOS, I.F. Índice de sustentabilidade em zona ribeirinha na bacia hidrográfica do riozinho do rôla, Rio Branco, Acre. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA*, Pombal – PB – BRASIL , v. 7, n. 1, p. 47 - 55 , jan./mar. 2013

SANTOS, Milton. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. 3ª ed. São Paulo: Hucitec, 1999

SANTOS, M. *Por uma Geografia Nova: da crítica da Geografia a uma Geografia Crítica*. São Paulo: EdUSP, 2002.

SCHOON, M. A Short Historical Overview of the Concepts of Resilience, Vulnerability, and Adaptation. *Workshop in Political Theory and Policy Analysis*, p. 1–17, 2005

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEMAR). (Piauí). *bacia do rio Poti*. atlas de abastecimento de água do Estado do Piauí, CD-ROM 1. 2004.

_____. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí*. Relatório síntese. Piauí. 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). *Geodiversidade do estado do Piauí*. Recife, 2010. 260 p.

SILVA, M. B. da. *Introdução à pesquisa em educação*. Florianópolis: UDESC, 2002.

SILVA, V.R. da; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três Sistemas de manejo na cultura do feijão. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, v.30, p.391-399, 2006

SILVA JUNIOR, C.H.L.; FREIRE, A.T.G.; MENDES, J.J. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP na avaliação da qualidade ambiental de nascentes. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria*, v. 19, n. 2, p. 292–303, mai-ago. 2015,

SILVA, J.R.L da.; MONTENEGRO, A.A. de A.; MONTEIRO, A.L.N.; SILVA JÚNIOR, V. de P e. Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. *Rev. Bras. Ciência Agrária*. Recife, v.10, n.2, p.293-303, 2015

SILVA NETO, João Cândido André da .indicação para o uso da terra na bacia Hidrográfica do rio salobra – serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul . *RA´E GA* . Curitiba, Departamento de Geografia–UFPR, N°. 25. 2012, p. 279-304.

SIMON, A.L.H. a dinâmica do uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do arroio santa bárbara - Pelotas (RS). *Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia*. Rio Claro (SP). 2007. 187f

SOUZA, G.S.de; LIMA, J.S.D.; SILVA, S.D.; XAVIER, A.C. Application of fuzzy logic and geostatistic in the analysis of the fertility of a soil under pasture. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 323-330, jul-set, 2009.

SOUZA, B. I; SUERTEGARAY, D. M. A. Considerações sobre a geografia e o ambiente. OKARA: *Geografia em debate*, v.1, n.1, p. 05-15, 2007

SPÖRL , C. ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP*, Espaço e Tempo, n. 15, p. 39-49, 2004.

SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia física (?) geografia ambiental (?) ou geografia e ambiente (?). in: *Elementos de epistemologia da geografia contemporânea*. Curitiba: Editora da UFPR. p. 111-120, 2003.

SUERTEGARAY. D. Geografia e interdisciplinaridade. Espaço geográfico: interface natureza e sociedade . *Geosul*, Florianópolis, v.18, n.35, p. 43-53, jan./jun. 2003

TELES, V.; CUNHA, L. Sociedade e Natureza na determinação de riscos naturais urbanos: Vulnerabilidade a inundações no município de Braga. In *ICUR 2016 - International Conference on Urban Risks Proceedings*. Lisboa, p. 1–9. 2016.

TOIGO, C. H.; CONTERATO, M. A.. Pobreza, Vulnerabilidade e Desenvolvimento no Território Rural Zona Sul: o que aponta o Índice de Condição de Vida?. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 55, n. 2, p. 267-284, jun. 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032017000200267&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: outubro de 2017.

TONY, A. C. A.; GREEN, O. O.; DECARO, D.; CHASE, A.; EWA, Jennifer-Grace. *The Social-Ecological Resilience of an Eastern Urban-Suburban Watershed: The Anacostia River Basin*. 67 p., 2015. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584968>. Acesso em: março de 2017.

TRICART, J. A. *Geomorfologia dos estudos integrados do Meio Natural*, Boletim Geográficos, Nº 251, Rio de Janeiro, 1976.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. IBGE- Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Rio de Janeiro. 1977, P. 97.

TUAN, Y-Fu. *Topofilia*. São Paulo: Difel, 1980

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. in: REBOUÇAS, A. da C.(org.). *Águas doces no Brasil*. 3ª ed. São Paulo: Escrituras, 2006. P.399-432.

_____. *Águas urbanas. Estudos avançados*. vol.22, nº63, São Paulo, 2008.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P.A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; X KASPERSON, J.X.; LUERS, A.; MARTELLO, M.L.; POLSKY,.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.100, n.14, p.8074–8079, 2003.

UNITED NATIONS (1993). *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development: The Final Text of Agreements Negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*, 3–14 June 1992, Rio de Janeiro, Brazil, New York: United Nations Publications.

UNITED NATIONS. Hyogo Framework for Action 2005–2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. *World Conference on Disaster Reduction*, 18–22 January Kobe, Hyogo, 2005. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-actionenglish.pdf>>. Acesso em: jul.2017.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A.. Abordagem sistêmica e geografia. *Geografia*. Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, set./dez. 2003.

VITTE, A.C. Apontamentos históricos e sociológicos sobre a Geografia Física: a questão do mecanicismo e da multicausalidade. *Sociedade e Território*, Natal, v. 23, nº 2, p. 38 - 56, jul./dez. 2011.

VLEK, P.L.G. Nothing Begets Nothing: The Creeping Disaster of Land Degradation. *InterSecTions*. Bonn: United Nations University, Institute for Environment and Human Security. N. 1,2005

VOLLMER, D.; PRESCOTT, M.F.; PADAWANGI,R.; GIROT,C.;GRÊT-REGAMEY,A. Understanding the value of urban riparian corridors: Considerations in planning for cultural services along an Indonesian river. *Landscape and Urban Planning* .Volume 138, June 2015, Pages 144–154

WOOD, N. J.; BURTON,C.G.; CUTTER, S.L. Community variations in social vulnerability to Cascadia-related tsunamis in the U.S. Pacific Northwest. *Natural Hazards*, N^o.52. Vol.2,P. 369-389. 2010. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-009-9376-1>>. Acesso em: jun.,2016

ZAKIA, M. J. B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas. Tese. Programa de pós-graduaçãoem Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos-SP, 1998. 98p