



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL- PPGECAM
- DOUTORADO -**

MARIE EUGÉNIE MALZAC

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA
VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA ZONA COSTEIRA SUL
DO ESTADO DA PARAÍBA**

João Pessoa – PB

Outubro - 2019



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL- PPGECAM
- DOUTORADO -**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA
VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA ZONA COSTEIRA SUL
DO ESTADO DA PARAÍBA**

MARIE EUGÉNIE MALZAC

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientador: Prof. Tarciso Cabral da Silva

João Pessoa – PB

Outubro – 2019

M262a Malzac, Marie Eugénie

Avaliação da dinâmica espacial e temporal da vulnerabilidade ambiental da zona costeira sul do estado da Paraíba/ Marie Eugénie Malzac - João Pessoa: UFPB, 2020.

170fl. il.:

Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) Centro de Tecnologia/ PPGECAAM / Campos I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Zona costeira 2. Uso e ocupação do solo 3. Propensão à perda de solos 4. Cenários ambientais pretéritos e preditivos I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.d. 504(043.2)

MARIE EUGÉNIE MALZAC

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA
VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA ZONA COSTEIRA SUL
DO ESTADO DA PARAÍBA**

Tese aprovada em 25/10/2018 como requisito para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

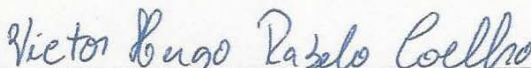
BANCA EXAMINADORA:



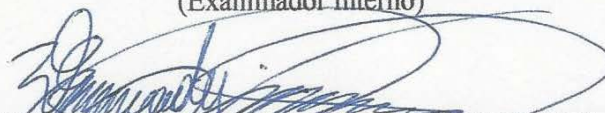
Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva
(Orientador)



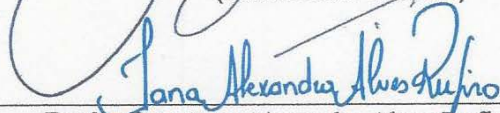
Prof. Dr. Hamilcar Jose Almeida Filgueira – UFPB
(Examinador Interno)



Prof. Dr. Victor Hugo Rabelo Coelho – UFPB
(Examinador Interno)



Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro - UFRN (Membro Externo)
(Examinador Externo)



Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino – UFCG
(Examinadora Externa)

AGRADECIMENTOS

Ao final desses quatro anos e meio de doutorado, gostaria de agradecer a todos que de alguma maneira ajudaram no processo do meu crescimento:

Aos meus pais Henri Geraldo Malzac in Memoriam, e Maria Nilza Malzac pelo amor e educação que me deram, as minhas filhas Desirée, Michelle e Stéphanie.

Universidade Federal da Paraíba - UFPB, através da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECAM.

Aos professores do Curso do PPGECAM e PRODEMA, pelos conhecimentos técnicos e científicos transmitidos.

A todos os colegas da Salinha pelo proveitoso convívio, meus eternos amigos e amigas, Thiago Pires Bezerra, Cindy Deina Farto, Laís Costa Lima, Raissa Borges Oliveira, Mirella Leôncio Motta E. Costa, Jobson Targino Dias. Taysa Tamara Viana Machado.

Aos meus amigos, do doutorado pelo proveitoso convívio, Paula Karerina de Macedo Machado Freire, Ana Emília Duarte, Eliamin Rosado, Leonardo Pereira e Silva, hoje doutores.

Agradecimento especial aos bolsistas do PIBC Maria Caroline Vitoriano Barros, Jonathan Antunes Ponte Cavalcante Leite, Bruno Lima de Oliveira e Gerlândia Soares Bias pela sua preciosa ajuda nos trabalhos de campo e apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

A SUDEMA em nome do Gerenciamento Costeiro representadas por Maria Betania Mattos de Carvalho e Janizete Rangel Pontes Lins, ao Laboratório de Qualidade de Água, representados por João Carlos de Miranda e Silva, José Marcelino de Lima Silva e Maria de Fátima Meneses.

Ao Prof. Heinrich Hasenack responsável pelo treinamento do Software Idrisi - módulo *Land Changer Modeler*, realizado no Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia – LABGEO, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

A todos os demais órgãos e instituições (AESAs, SUDEMA, Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente).

E, acima de tudo, a Deus, por ter colocado em meu caminho o Prof. Tarciso Cabral. São tantas coisas por agradecer que nem sei como começar. Obrigada pela orientação profissional, por acreditar no meu trabalho. Obrigada pela compreensão, paciência e apoio mostrados em todos estes anos. Obrigada pelo excelente ensinamento e inestimáveis contribuições.

Aos membros da banca examinadora Venerando Eustáquio Amaro, Iana Alexandra A. Rufino, Hamilcar Figueira, Victor Hugo Rabelo Coelho pela disponibilidade e participação no aperfeiçoamento deste trabalho.

RESUMO

A evolução da ocupação do espaço geográfico costeiro brasileiro tem se constituído em uma importante questão a ser enfrentada pelos planejadores ambientais, na medida em que há necessidade de compatibilização entre as atividades antrópicas e a capacidade de suporte da terra, buscando a minimização da vulnerabilidade ambiental nos seus diversos ecossistemas. O conhecimento da vulnerabilidade ambiental deve ser estendido ao longo do tempo, analisando-se as tendências espaciais de crescimento, visando o adequado estabelecimento de políticas de zoneamento ambiental. A zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), objeto desse estudo, tem sofrido ao longo dos séculos com a destruição da Mata Atlântica, substituída pela ocupação majoritária da atividade agrícola, com destaque para a cana de açúcar, além da expansão urbana.

Este trabalho teve como objetivo elaborar cartogramas dos graus de vulnerabilidade ambiental à perda de solos destinados à avaliação da estabilidade, relativa às categorias morfodinâmicas associadas à relação morfogênese/pedogênese, na ZC-Sul/PB para cenários pretéritos e preditivos. Foram abordadas questões ligadas à Zona Costeira (ZC) com destaque para a delimitação do seu espaço geográfico no contexto internacional e brasileiro. A gestão integrada, no âmbito das bacias hidrográficas e da ZC, apresenta diretrizes determinadas nas políticas do meio Ambiente, recursos do mar e de recursos hídricos. Por conseguinte, foi apresentado um diagrama conceitual relativo às zonas de planejamento de recursos hídricos e da zona costeira bem como a delimitação da ZC-Sul/PB, à luz de critérios estabelecidos na literatura, tendo sido considerado o critério arbitrário relativo ao traçado da rodovia BR-101 como o mais adequado. Realizou-se o mapeamento da dinâmica das alterações das classes de uso e ocupação do solo (UOS) na ZC-Sul/PB, nos cenários pretéritos referentes aos anos de 1988, 2001 e 2013, com uso de imagens de satélites, para o processamento através de *softwares* de técnicas de interpretação e classificação automática supervisionada. Foram feitas também predições dos UOS para os anos de 2023 e 2033 com o modelo *Land Change Modeler* (LCM), possibilitando prever as mudanças. Devido à carência de banco de dados de UOS, a aplicação do modelo LCM para a ZC-Sul/PB, foi feita com base nos parâmetros de transição para o município de Pitimbu, no qual foi feita a validação, e considerando também as semelhanças observadas entre a evolução do UOS em Pitimbu e na ZC-Sul/PB. As análises temporais e espaciais, dos cenários pretéritos e preditivos, identificaram resultados de grandes mudanças de áreas dos subsistemas da Mata Atlântica, equivalente à classe Áreas florestadas, para as classes Culturas diversas, Cana de açúcar e Áreas urbanas. Para as avaliações da vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB em cenários futuros, como dependente apenas das mudanças do uso e ocupação do solo, foi necessário assegurar a inexistência de tendências nas séries temporais de precipitação da região. Assim, foram aplicados dois métodos não paramétricos para verificação de ocorrência de tendências das séries de precipitação, e os resultados foram indicativos da ausência de tendências. A análise da evolução da vulnerabilidade ambiental à perda de solos mostrou a ocorrência de quatro graus de classificação para a vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB: Moderadamente estável, Medianamente estável/vulnerável,

Moderadamente vulnerável e Vulnerável. Do exame dos cartogramas de vulnerabilidade ambiental pôde ser inferida uma clara repercussão das mudanças do UOS, com o decrescimento de áreas florestadas, e no aumento dos níveis de vulnerabilidade na ZC-Sul/PB, uma vez que os demais planos temáticos foram considerados invariáveis na escala temporal referida. A comparação dos cenários pretéritos e preditivos permitiu concluir que a categoria morfodinâmica intermediária prevaleceu em equilíbrio pedogenético/morfogenético nos cenários referentes aos anos de 2001 e 2013, com grau Medianamente Estável/Vulnerável, equivalentes a 56,83% e 52,99% respectivamente. O cenário para o ano de 2033 aponta uma mudança para a situação de categoria instável, prevalecendo à morfogênese, somando 53,22%, com graus Moderadamente Vulnerável e Vulnerável, indicando assim propensão à perda de solo. A categoria morfodinâmica intermediária, observada entre os anos 2001 – 2013, com o reconhecimento do equilíbrio pedogenético/morfogenéticos para a maior parte da ZC-Sul/PB, passa a para a previsão da condição de morfogênese, categoria instável, a partir de 2025.

Palavras chave: zona costeira, uso e ocupação do solo, propensão à perda de solos, cenários ambientais pretéritos e preditivos.

Abstract

The evolution of the occupation of the Brazilian coastal geographical space has been an important issue to be faced by environmental planners, as there is a need for compatibility between anthropic activities and the carrying capacity of the land, seeking to minimize environmental vulnerability in their various ecosystems. Knowledge of environmental vulnerability should be extended over time by analyzing spatial growth trends with a view to establishing appropriate environmental zoning policies. The southern coastal zone of Paraíba State (ZC-Sul / PB), object of this study, has suffered over the centuries with the destruction of the Atlantic Forest, replaced by the majority occupation of agricultural activity, especially sugar cane, besides of urban sprawl. The research, reported in this thesis, aimed to elaborate cartograms of the degrees of environmental vulnerability to soil loss destined to the evaluation of the relative stability of the morphodynamic categories, associated with the morphogenesis / pedogenesis relationship, in ZC-Sul / PB for past and predictive scenarios. Issues related to the Coastal Zone (ZC) are addressed with emphasis on the delimitation of its geographical space in the international and Brazilian context. Integrated management within the river basin and ZC has guidelines set out from the environment, sea and water resources policies. Therefore, a conceptual diagram concerning the water resources planning zones and the coastal zone was presented, as well as the delimitation of the ZC-Sul/PB, in the light of criteria established in the literature, and the arbitrary criterion, regarding to the BR-101 highway layout, was considered to be the most appropriate. The mapping of the dynamics of land use and occupation classes (UOS) changes in the ZC-Sul/PB was performed, in the past scenarios for 1988, 2001 and 2013, using satellite images for processing through of supervised automatic interpretation and classification techniques software. UOS predictions were also made for the years 2023 and 2033 with the Land Change Modeler (LCM) model, making it possible to predict the changes. Due to the lack of UOS database, the application of the LCM model to the ZC-Sul/PB was based on the transition parameters for the municipality of Pitimbu, in which the validation was performed, and also considering the similarities observed between the evolution of the UOS in Pitimbu and ZC-Sul/PB. Temporal and spatial analyzes of past and predictive scenarios have identified results of major changes in areas of the Atlantic Forest subsystems, for the Miscellaneous Crops, Sugarcane and Urban Areas classes. For the environmental vulnerability assessments in the ZC-Sul/PB in future scenarios, as dependent only on changes in land use and occupation, it was necessary to ensure that there are no trends in the region's rainfall time series. Thus, two nonparametric methods were applied to verify the occurrence of trends of the precipitation series, and the results were indicative of the absence of trends. The evolution analysis of environmental vulnerability to soil loss showed the occurrence of four grades of environmental vulnerability classification in ZC-Sul/PB: Moderately stable, Medium stable/vulnerable, Moderately vulnerable and Vulnerable. From the examination of the environmental vulnerability cartograms, it was possible to infer a clear repercussion of the changes of the UOS, with the decrease of forested areas, and the increase of the vulnerability levels in the ZC-Sul/PB, since the other thematic plans were considered invariable in the referred time scale. The comparison of past and predictive scenarios led to the conclusion that the intermediate morphodynamic category prevailed in

pedogenetic/morphogenetic equilibrium in the scenarios for 2001 and 2013, with a Median Stable / Vulnerable degree, equivalent to 56.83% and 52.99% respectively. The scenario for the year 2033 points to a change to the unstable category situation, prevailing morphogenesis, totaling 53.22%, with Moderately Vulnerable and Vulnerable degrees, thus indicating a propensity for soil loss. The intermediate morphodynamic category, observed between 2001 and 2013, with the recognition of the pedogenetic / morphogenetic balance for most of the ZC-Sul / PB, goes on to predict the condition of morphogenesis, unstable category, from 2025.

Key words: coastal zone, land use and occupation, propensity for soil loss, past and predictive environmental scenarios.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1 – Percurso Metodológico da pesquisa com agrupamento temático dos capítulos e artigos	25
---	----

Capítulo 2

Figura 2.1 – Fluxograma e fases da pesquisa para a delimitação da ZC-Sul/PB	27
Figura 2.2 - Divisão territorial da gestão costeira e de recursos hídricos no Brasil.	31
Figura 2.3 – Esquema da inter-relação espacial do sistema costeiro e da bacia hidrográfica.....	33
Figura 2.4 – Área de estudo com os limites municipais, hidrografia e bacias hidrográficas.....	43
Figura 2.5 – ZC-Sul/PB delimitada pelo critério dos ecossistemas, manguezais e áreas úmidas.....	48
Figura 2.6 – ZC-Sul/PB definida pelo subcritério da pluma salina.....	50
Figura 2.7 – Limite da ZC-SUL/PB referente à rodovia BR-101.....	51
Figura 2.8 – Traçado da ZC-SUL/PB pelos limites das BH do baixo curso do rio.	53
Figura 2.9 – ZC-SUL/PB segundo o PNGC II.....	54
Figura 2.10 – Representações para a ZC-Sul/PB de acordo com os cinco critérios.....	55

Capítulo 3

Figura 3.1 – Fluxograma e fases para o processamento do UOS.....	65
Figura 3.2 – Localização da área de estudo.....	71
Figura 3.3 – Mapa de usos do solo município de Pitimbu nos anos de 2001 e 2013	77
Figura 3.4 – Gráfico de perdas e ganhos de áreas por classe de uso entre 2001 e 2013	79
Figura 3.5 - Contribuição das mudanças nas classes – Áreas florestadas, Culturas diversas, Cana de açúcar e Urbano e respectivas trocas entre os usos especificados (km ²).	80

Figura 3.6 – Informações quantitativas de concordância e discordância entre as duas imagens. Fonte: Relatório de informações quantitativas do <i>software TerraSet/LCM</i>	84
Figura 3.7 – Mapas 2017(projetado) e 2017 (referencia) com suas classes....	86
Figura 3.8 – Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027).....	87
Figura 3.9 – Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037).....	88
Figura 3.10 - Evolução das áreas das principais classes de uso do solo.....	89

Capítulo 4

Figura 4.1 – Área de localização da ZC-Sul/PB	98
Figura 4.2 – Gráfico de perdas e ganhos das classes de UOS (km ²): Pitimbu (a) e ZC-Sul/PB (b)	103
Figura 4.3 – Gráficos da evolução das classes de uso: Pitimbu (a) e na ZC-Sul/PB (b).....	104
Figura 4.4 - Diagrama de dispersão de valores de áreas do UOS (pontos azuis: valores observados, pontos vermelhos: valores simulados)	104
Figura 4.5 – Distribuição espacial das UOS e valores percentuais e áreas nos anos de 1988, 2001 e 2013.....	106
Figura 4.6 – Distribuição espacial dos UOS e seus valores percentuais e áreas nos anos de 2023 e 2033.....	108
Figura 4.7 – Evolução dos UOS da ZC-Sul/PB	109

Capítulo 5

Figura 5.1 – Fluxograma e fase de análise de tendências das séries pluviométricas	114
Figura 5.2 – Área de localização da ZC-Sul/PB e postos pluviométricos.....	120
Figura 5.3 – Isoietas anuais no estado da Paraíba, com destaque para a ZC-Sul/PB.	121
Figura 5.4 – Curvas das duplas massas para verificação da consistência das séries históricas: Conde (a) e Pitimbu (b)	125
Figura 5.5 – Séries de valores pluviométricos anuais e das médias da QC...	126

Capítulo 6

Figura 6.1 – Fluxograma e fase de determinação da vulnerabilidade.....	133
Figura 6.2 – Área de estudo na região geográfica Imediata de João Pessoa	139

Figura 6.3 - Espacialização das classes de solos, siglas, áreas (Km ²), percentuais e vulnerabilidade.....	147
Figura 6.4 - Distribuição espacial da Geologia, áreas (km ²), percentuais e vulnerabilidade	148
Figura 6.5 – Distribuição espacial da pluviometria áreas (km ²), percentuais e vulnerabilidade	149
Figura 6.6 - Espacialização dos temas Amplitude Altimétrica, Amplitude de interflúvio e Declividade, suas áreas (km ²), percentuais e a vulnerabilidade .	150
Figura 6.7 – Distribuição espacial dos usos do solo nos anos 2001 e 2013, áreas (km ²), percentuais e vulnerabilidade	151
Figura 6.8 – Distribuição espacial dos usos do solo dos anos preditivos 2023 e 2033, áreas (km ²), percentuais e vulnerabilidade	152
Figura 6.9 – Cartogramas de graus de vulnerabilidade ambiental à perda de solo dos temas Geologia (a), Solos (b), Geomorfologia (c) e Clima (d)	154
Figura 6.10 (a,b,c,d) – Cartogramas dos graus de vulnerabilidade para o tema uso do solo.....	155
Figura 6.11 – Evolução da vulnerabilidade para o tema uso do solo	156
Figura 6.12 - Cartogramas de vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB, nos anos 2001 e 2013.....	157
Figura 6.13 - Cartogramas de vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB, nos anos 2023 e 2033.....	158
Figura 6.14 – Evolução da vulnerabilidade à perda de solo na ZC-Sul/PB	160

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Características dos manguezais na ZC-Sul/PB.....	47
Tabela 2.2 – Comprimento da pluma salina nos rios e áreas da ZC-Sul/PB....	51
Tabela 2.3 – Bacias hidrográficas, municípios e as áreas delimitadas da ZC-Sul/PB.	52
Tabela 2.4 – Áreas da ZC-Sul/PB por BH, municípios, e distâncias do limite do baixo curso à foz.	53
Tabela 2.5 – Critérios, subcritérios, larguras e áreas para a ZC-Sul/PB e ZID	56

Capítulo 3

Tabela 3.1 – Classes de uso do solo	78
Tabela 3.2 – Perdas e ganhos de áreas por classe de uso em 2001 e em 2013.	80
Tabela 3.3 – Proporcionalidades de transições obtidas para as classes de uso: 1 - Corpos hídricos, 2 - Cana de açúcar, 3 - Culturas diversas, 4 - Mangue, 5 - Áreas úmidas, 6 – Área Urbana, 7 - Áreas florestada.	83
Tabela 3.4 – Índice Kappa de concordância (KIA) para todas as classes, utilizando 2017 projetado como referência.....	84
Tabela 3.5 – Dados de áreas das classes de 2017, de referência e projetado	85
Tabela 3.6 – Área das classes de uso e ocupação do solo em 2017 e para os cenários de predição	89

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Resumo de áreas e de linhas de costa de municípios da ZC-Sul	99
---	----

Lista de Quadros

Capítulo 3

Quadro 3.1 – Valores de Kappa	76
Quadro 3.2 - Variáveis exploratórias e o resultado do teste de V de Cramer ..	82

Capítulo 6

Quadro 6.1 - Definições para a elaboração dos planos de informação temáticos	142
Quadro 6.2– Escala dos graus de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: (Crepani et. al. 2001).....	145
Quadro 6.3 – Valores da estabilidade das categorias morfodinâmicas. Fonte: (Crepani et. al. 2001).....	146

LISTA DE ABREVIATURAS

AESA	– Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AO	– Oceano Atlântico
APA – Tambaba	– Proteção Ambiental Estadual de Tambaba
BHs	– Bacias Hidrográficas
CA	– autômatos celulares
CBHLS	– Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul
CERH	– Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba
CIRM	– Conselho Interministerial dos Recursos do Mar
CNRH	– Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CTCOST	– Câmara Técnica de Integração da Gestão de Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira
CZMA	– Coastal Zone Management Act
DEM	– Modelo de Elevação Digital
ENGIZC	– Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
K	– Kappa
LCM	– Land Change Modeller
LUCC	– Land Cover Change Models
MA	– Mata Atlântica
MDE	– Modelo Digital de Elevação
MLP	– Perceptron multicamada
OCRM	– Office of Ocean and Coastal Resource Management
PBMC	– Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNGC	– Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
Proálcool	– Programa Nacional do Álcool
Projeto Orla	– Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima
QC	– Quadras chuvosas
RESEX Acaú Goiana	– Reserva Extrativista Acaú-Goiana
RNAs	– As Redes Neurais Artificiais
SIG	– Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	– Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNRH	– Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SPRING	– Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada
SR	– Sensoriamento Remoto
SRTM	– Shuttle Radar Topography Mission
UOS	– uso e a ocupação do solo
USGS	– United States Geological Survey
UTM	– Universal Transversa de Mercator
ZC	– Zona Costeira
ZC-Sul/PB	– Zona Costeira Sul do estado da Paraíba
ZID	– Zona de Influência Direta

SUMÁRIO

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Hipóteses.....	22
Hipótese básica	22
Hipóteses secundárias.....	22
1.2 Objetivo geral	23
1.3 Estrutura da tese.....	24
1.4 Referencias	26
Capítulo 2 – DELIMITAÇÕES DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL.....	27
2.1 INTRODUÇÃO	29
2.2 ASPECTOS CONCEPTUAIS E CRITÉRIOS PARA A DELIMITAÇÃO DA ZC.....	34
2.2.1 Limites para a ZC no contexto internacional	35
2.2.2 Critérios para a delimitação da ZC	39
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
2.3.1 Caracterização da área de estudo	41
2.3.2 Procedimentos metodológicos	46
2.3.3 Aplicação dos critérios de delimitação à ZC-Sul/PB.....	46
2.3.4 Síntese das delimitações da ZC-Sul/PB.....	54
2.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	56
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
2.6 REFERÊNCIAS	60
Capítulo 3 – MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: O CASO DO MUNICÍPIO DE PITIMBU.....	64
3.1 – INTRODUÇÃO.....	68
3.2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
3.2.1 – Caracterização da área de estudo	71
3.2.2 – Obtenção das imagens de satélite e dados vetoriais	72
3.2.3 – Processamento digital de imagens.....	72

3.2.4 – Procedimentos da modelagem dinâmica espacial	73
3.2.5 – Perceptron multicamada (MLP).....	74
3.2.6 – Validação e predição.....	74
3.3 – RESULTADOS	77
3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
3.5 REFERÊNCIAS	91
Capítulo 4 - MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: DINÂMICA E CENÁRIOS FUTUROS	93
4.1 – INTRODUÇÃO.....	95
4.2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	98
4.2.1 – Caracterização da área de estudo	98
4.2.2 – Obtenção e tratamento dos dados utilizados	101
4.2.3 – Procedimentos da modelagem dinâmica espacial e da validação dos resultados.....	101
4.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	105
4.4 – CONCLUSÕES.....	109
4.5 – REFERÊNCIAS	110
Capítulo 5 – ANÁLISES DE TENDÊNCIAS E DE PERIODICIDADES DE SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA	114
5.1 – INTRODUÇÃO.....	116
5.2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	119
5.2.1 – Caracterização da área de estudo	119
5.2.2 – Os testes de tendência e de periodicidade das séries de precipitações.....	122
5.2.3 – As séries de dados pluviométricos utilizadas	124
5.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	125
5.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
5.5 – REFERÊNCIAS	130
Capítulo 6 - EVOLUÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA DE SOLOS NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA	133

6.1 – INTRODUÇÃO.....	135
6.2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	139
6.2.1 – Caracterização da área de estudo	139
6.2.2 – Obtenção dos dados	141
6.2.3 – Metodologia.....	142
6.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	146
6.3.1 Mapas temáticos de vulnerabilidade associada	146
6.3.2 Vulnerabilidade por tema do meio físico	153
6.3.3 Vulnerabilidade ambiental à perda de solo na ZC-Sul/PB.....	156
6.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
6.5 – REFERÊNCIAS	162
Capítulo 7– CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	166
7.1 CONCLUSÕES.....	166

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

A zona costeira (ZC) é definida, no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II), como o espaço geográfico para efeitos de gestão ambiental, abrangendo a interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais. Compreende uma faixa marítima e outra terrestre, definindo-se, no continente, a delimitação dos limites político-administrativos (BRASIL, 1997a).

A ZC pode ser conceituada como a porção de território influenciada direta e indiretamente, em termos biofísicos, pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter, para o lado da terra, largura tipicamente de ordem quilométrica e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental (GOMES, 2007).

Os ambientes da ZC se caracterizam por sua complexidade e por estarem sujeitos a influências diversas de natureza antrópica, climática, fluvial, biológica, oceanográfica, cósmica, entre outras (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008). Nesses ambientes, são as ações antrópicas que têm gerado a maioria dos desequilíbrios ao longo dos anos de ocupação.

As áreas costeiras são submetidas a grande estresse ambiental, devido à excessiva exploração de seus recursos naturais, uso desordenado do solo e à influência de agentes oceanográficos (ondas, marés, correntes), meteorológicos (ventos, tempestades), hidrológicos (rios, aquífero, oceano) e antrópicos (agricultura, habitação, indústria, turismo, lazer) (RANIERI e EL-ROBRINI, 2016).

Na ZC, ocorrem regiões de transição ecológica que desempenham importantes funções de ligação e trocas genéticas entre os ecossistemas terrestres e marinhos, fato que as classificam como ambientes complexos, diversificados e de extrema importância para a sustentação da vida no mar (MMA/SBF, 2002).

A ocupação da ZC tem se constituído em uma problemática para os planejadores do setor ambiental, principalmente em relação ao ordenamento das atividades humanas e à minimização dos seus impactos nos diversos ecossistemas costeiros.

Devido a fatores históricos relacionados à ocupação do território brasileiro, e seguindo a tendência mundial das populações em ocupar predominantemente

áreas próximas ao litoral, o Brasil apresenta 26,6% da população em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes. Parte dessa população está ocupada com atividades ligadas, direta ou indiretamente, à agricultura, turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços que atendem à dinâmica econômica gerada nos municípios costeiros e outros próximos (IBGE, 2011; MELLO *et al.* 2013). Além disso, cinco das cidades mais populosas (São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Recife e Fortaleza) estão localizados a até 100 km da costa (ANDRÉS, BARRAGÁN e SCHERE, 2018). No Nordeste, mais especificamente nos estados da costa Leste, a presença de cultura da cana de açúcar para o processamento nos engenhos e usinas é predominante na zona costeira, tendo sido iniciada ainda nos tempos do Brasil Colônia.

A ZC brasileira é considerada patrimônio nacional na Constituição Federal de 1988 e é administrada de acordo com os princípios estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981), e na Política Nacional para os Recursos do Mar (BRASIL, 2005). Na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997b), em seu artigo 3º, são constituídas diretrizes gerais de ação para sua implementação e estabelece “a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras”.

Nesse contexto, a ZC representa uma importante questão que vem sendo trabalhada por gestores públicos no sentido de se estabelecer uma delimitação entre as bacias hidrográficas e as áreas costeiras, tentando encontrar um limite onde possa haver a integração entre os instrumentos de gestão das políticas.

No tocante à problemática do uso e ocupação do solo (UOS), que é um fator preponderante na organização do espaço costeiro, se destaca o conhecimento de aspectos naturais e antrópicos, que permite presumir o comportamento dos ambientes costeiros e identificar condições favoráveis e desfavoráveis de utilização ou preservação da ZC (RANIERI e EL-ROBRINI, 2016).

Sobre as possíveis causas de alterações no meio ambiente, têm sido considerados o desenvolvimento global e as mudanças climáticas como os mais destacados fatores impactantes nos recursos naturais, tornando o ambiente vulnerável.

Segundo esse ponto de vista, as alterações do uso e cobertura do solo têm implicado em mudanças nas suas proporções e, ao mensurar essas transformações no tempo e espaço, é possível obter potenciais indicadores-chave que agregam diversos aspectos bióticos e abióticos.

A vulnerabilidade, numa definição lata, é o potencial para a perda. A vulnerabilidade inclui elementos de exposição ao risco (as circunstâncias que colocam as pessoas e as localidades em risco perante um determinado perigo), ou a propensão (relativa às circunstâncias que aumentam ou reduzem a capacidade da população, da infraestrutura ou dos sistemas físicos para responder e recuperar de ameaças ambientais) (CUTTER, 2011).

O estudo da vulnerabilidade ambiental, e sua espacialização em determinado território, possibilita a identificação das áreas a apresentar possíveis impactos ambientais, constituindo importante instrumento para o planejamento ambiental e o ordenamento territorial, em particular da zona costeira, uma vez que esta apresenta parcelas notadamente vulneráveis, como os manguezais, pântanos salgados e deltas.

Entre os modelos para a avaliação da vulnerabilidade ambiental, o desenvolvido por Crepani (2001), relativo à propensão de perda do solo, que se utiliza de mapas de geologia, vegetação, hidrologia e uso do solo, áreas protegidas por lei, declividades e uso dos solos, identificando as unidades de paisagem em função dos atributos temporais nos processos de mudanças no uso e ocupação da terra. Deve ser compreendido que entre as temáticas acima, que fazem parte da metodologia de avaliação de vulnerabilidade de Crepani, os temas que podem sofrer mudanças significativas em períodos de tempo de curto e médio prazo são o uso e ocupação do solo e o clima.

Associando-se ao estudo do uso e ocupação do solo, e das geotecnologias, têm sido desenvolvidas modernas ferramentas destinadas à análise da dinâmica espacial e temporal das mudanças do uso do solo, no âmbito da inteligência artificial, incorporadas a modelos como o *Land Change Modeller* (LCM), que possibilita a prospecção de cenários futuros. O LCM é um módulo integrado ao *software IDRISI* desenvolvido pela *Clark Labs da Clark University, EUA*, e disponibiliza ferramentas para avaliação e projeção de mudanças de cobertura da terra e suas implicações para espécies, habitats e biodiversidade (EASTMAN,

2009). O conhecimento dos cenários de uso do solo pode ser associado aos modelos de vulnerabilidade ambiental, o que permite conhecer a sua evolução.

A região das bacias hidrográficas do Litoral Sul do estado da Paraíba tem sido alvo da destruição da Mata Atlântica, substituída pela ocupação majoritária da atividade agrícola, historicamente com a cana de açúcar, e com culturas diversas (coco da bahia, batata doce, mandioca, abacaxi, macaxeira, inhame, bambu, acerola etc.), além da expansão urbana. Esse processo de ocupação tem se acentuado na ZC, principalmente após a estabilização econômica do Brasil ocorrida nos anos 1990, em boa parte devido a implantação de rodovias. Desde então, diversos projetos viários, de loteamentos e de indústrias têm sido implantados.

Assim, à luz da problemática da intensificação do uso do solo na zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), das possíveis mudanças climáticas e das repercussões na vulnerabilidade ambiental, a pesquisa relatada nesta tese trata do comportamento espaço-temporal da vulnerabilidade à perda de solos na ZC-Sul/PB, considerando cenários pretéritos e futuros.

O conhecimento das variações espaço-temporais da vulnerabilidade ambiental à perda de solos deve ser útil aos planejadores ambientais no sentido de promover políticas públicas que possam reverter tendências negativas provocadas pelos usos inadequados do solo.

1.1 Hipóteses

Hipótese básica

A aplicação das metodologias para a determinação da distribuição espacial e temporal da vulnerabilidade ambiental à perda de solos na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba permite concluir sobre mudanças relevantes nos graus de vulnerabilidade em períodos pretéritos e futuros de médio prazo.

Hipóteses secundárias

A delimitação da Zona Costeira Sul do estado da Paraíba, com base no critério geográfico de distância fixa, é adequada para atender aos preceitos do gerenciamento costeiro e da gestão dos recursos hídricos.

As metodologias utilizadas na tese permitem a obtenção de resultados adequados para a espacialização e análises das mudanças do uso do solo ao longo do tempo.

Os possíveis efeitos de mudanças climáticas nas séries de precipitações pluviométricas, utilizadas no modelo de avaliação da vulnerabilidade ambiental à perda de solos, não se traduzem em tendências significativas o que inviabilizaria o seu uso em cenários futuros.

Pode ser inferido crescimento da vulnerabilidade ambiental à perda de solos da ZC-Sul/PB, ao longo do período de tempo estudado, revelado no aumento dos valores das categorias morfodinâmicas.

1.2 Objetivo geral

Avaliar a evolução da vulnerabilidade ambiental à perda de solos da zona costeira Sul do estado da Paraíba, compreendendo cenários pretéritos e preditivos, com base nas análises das transformações espaciais e temporais do uso e ocupação do solo.

Os objetivos específicos são:

- Delimitar a ZC-Sul/PB, examinando os diversos critérios, visando eleger a mais apropriada representação do espaço para a possibilitar a realização do adequado gerenciamento costeiro integrado à gestão dos recursos hídricos.
- Identificar e mapear as mudanças do uso e ocupação do solo na ZC-Sul/PB por meio de imagens de satélite dos anos de 1998, 2001, 2013 e 2017.
- Modelar a dinâmica espacial para simular cenários do uso e ocupação do solo e representar cenários prospectivos de curto e de médio prazo.
- Verificar se as séries temporais de precipitação na ZC-Sul/PB apresentam tendências significativas passíveis de influir na determinação da vulnerabilidade ambiental à perda de solos.
- Conhecer a distribuição espacial da vulnerabilidade ambiental da ZC-Sul/PB para os cenários pretéritos e futuros nos anos de 2023 e 2033.

- Analisar as repercussões das mudanças do uso e cobertura do solo na vulnerabilidade ambiental no período estudado.

1.3 Estrutura da tese

Para o desenvolvimento da pesquisa relatada nessa tese, foram estabelecidas seis fases buscando atender aos objetivos específicos concebidos, segundo o percurso metodológico geral esquematizado na Figura 1.1.

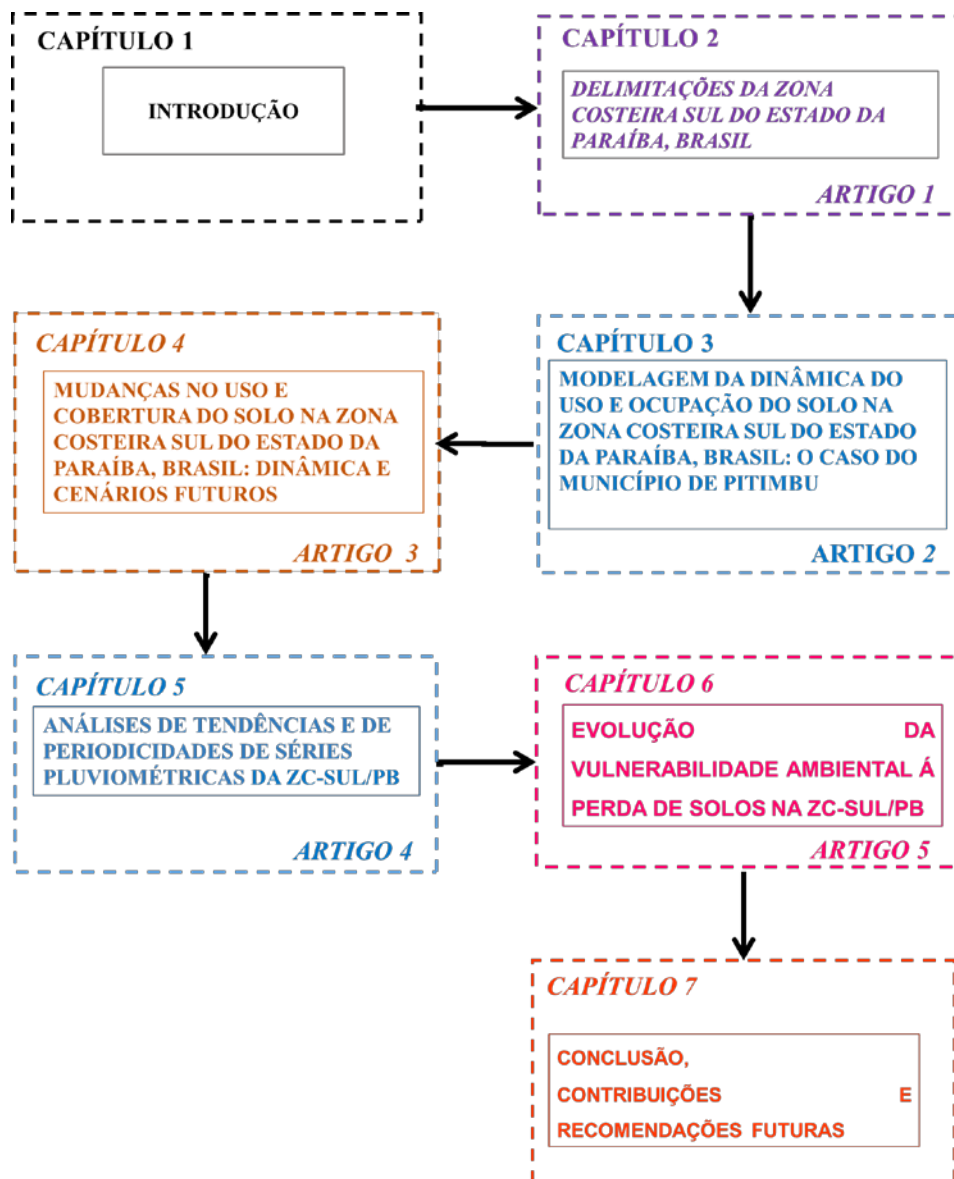
As seis fases metodológicas foram organizadas e distribuídas em cinco capítulos, correspondentes a artigos científicos. Complementam a tese os capítulos referentes à Introdução e às Considerações Finais.

A Introdução, Capítulo 1, contempla uma revisão bibliográfica que provê a percepção e a consolidação global da pesquisa, contendo ainda uma contextualização da problemática da tese. Inclui também a apresentação das hipóteses, os objetivos, a estrutura da tese, a metodologia geral e as referências bibliográficas.

Os capítulos 2 a 6 correspondem aos artigos a serem submetidos ou já publicados em revistas científicas relevantes.

O capítulo 7, referente às Considerações Finais, compreende as conclusões, contribuições e recomendações para trabalhos futuros.

Figura 1. 1 – Percurso Metodológico da pesquisa com agrupamento temático dos capítulos e artigos



1.4 Referencias

ANDRÉS, M. D.; BARRAGÁN, J. M.; SCHERE, M. Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage? **Land Use Policy**, v. 71, p. 121–128, 2018. journal homepage: www.elsevier.com/locate/landusepol.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 , Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília. 1981.

BRASIL (1997a). **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II)**. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar/Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil..

BRASIL (1997b). **Lei Federal n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Brasília. 1997.

BRASIL. **Política Nacional para os Recursos do Mar - PNRM - DECRETO Nº 5.377, DE 23 DE FEVEREIRO DE 2005.:** 2005.

CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13 - Nº 2, p. 144-152, abr/jun 2008.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: MCT/INPE, 2001.

CUTTER, S. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, Coimbra, p. 59-69, junho 2011. URL: <http://rccs.revues.org/165>, DOI: 10.4000/rccs.165, ISSN: 2182-7435.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Taiga: guide to GIS and image processing**. [S.I.]: Worcester: ClarkLabs, 2009. 327 p.

GOMES, F. V. A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. **Revista da Gestão Costeira Integrada** , v. 7(2), p. 83-95, 2007.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas**. [S.I.]. 2011.

MELLO, K. et al. Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: o caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil. Urban expansion dynamic in the Brazilian coastal zone: the case of São Vicente city, state of São Paulo, Brazil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13(4), p. 539-551, 2013. ISSN 539-551. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-432_Mello.pdf DOI:10.5894/rgci432.

MMA/SBF. **AVALIAÇÃO e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, p. 404. 2002.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada**, p. 16(2):133:146, 2016. DOI:10.5894/rgci565.

Capítulo 2 – DELIMITAÇÕES DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL

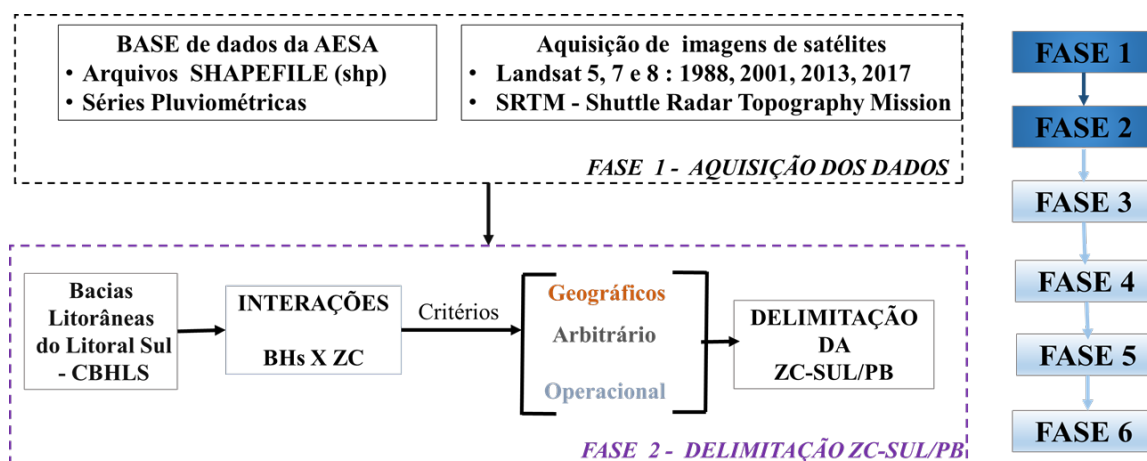
Nesse capítulo são abordadas questões ligadas às interações ocorrentes entre a zona costeira e as bacias hidrográficas. Também é feita a delimitação da zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB) à luz dos conceitos trabalhados e dos critérios e subcritérios estabelecidos.

O critério arbitrário relativo ao traçado da rodovia BR-101 foi considerado como o mais adequado para a representação da ZC-Sul/PB.

Na Figura 2.1 se observa o fluxograma com as primeiras fases da pesquisa em destaque, equivalentes à aquisição dos dados e ao primeiro objetivo específico definido. A fase 2 refere-se especificamente à delimitação da ZC-Sul/PB, para servir como a área de estudo da tese.

Esse capítulo corresponde ao artigo 1, de mesmo título, já publicado na Revista de Gestão Costeira Integrada 19(2):123-141 (2019), http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n260_Malzac.pdf | DOI:10.5894/rgci-n260.

Figura 2. 1 – Fluxograma e fases da pesquisa para a delimitação da ZC-Sul/PB



- DELIMITAÇÕES DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL

- *DELIMITATIONS OF THE SOUTH COASTAL ZONE OF THE PARAÍBA STATE, BRAZIL*

Resumo: Neste trabalho são abordadas questões ligadas à Zona Costeira (ZC) com destaque para a delimitação do seu espaço geográfico no contexto internacional e Brasileiro. São feitas observações críticas sobre critérios de delimitação da ZC e detalhadas as principais metodologias existentes, apresentando-se um diagrama conceptual relativo às zonas de planeamento de recursos hídricos e a costeira. Também são realizadas as delimitações da Zona Costeira Sul do estado da Paraíba, à luz dos conceitos trabalhados e dos critérios e subcritérios estabelecidos na literatura, Geográficos, Operacionais e Arbitrários. Inclui-se, após justificativa da notória influência nos ecossistemas costeiros, a Zona de Influência Direta (ZID) equivalente às áreas das bacias hidrográficas dos altos e médios cursos dos rios. Os resultados apontaram o critério político administrativo como o de maior área da ZC e o subcritério do comprimento máximo da pluma salina como o de menor área. O critério arbitrário relativo ao traçado da rodovia BR-101 foi considerado como o mais adequado.

Palavras-chave: Delimitação da zona costeira, Gestão de bacias hidrográficas, Gestão costeira.

Abstract: In this paper issues related to the Coastal Zone (ZC) are addressed, highlighting the delimitation of its geographic space in the international and Brazilian context. Critical observations are made on ZC delimitation criteria and detailed the main methodologies available, presenting a conceptual diagram on water and coastal planning zones. The delimitations of the Southern Coastal Zone of the state of Paraíba are also carried out, in the light of the concepts worked and the criteria and subcriteria established in the literature, Geographical, Operational and Arbitrary. It includes, after justification of the notorious influence in the coastal ecosystems, the Zone of Direct Influence (ZID) equivalent to the areas of the watersheds of the high and medium rivers courses. The results pointed out the administrative political criterion as the largest area of the ZC and the subcriteria of

the maximum length of the saline plume as the smaller area. The arbitrary criterion relative to the BR-101 highway was considered the most appropriate.

Keywords: Coastal zone delimitation, Watershed management, Coastal management.

2.1 INTRODUÇÃO

A ocupação do espaço geográfico costeiro tem-se constituído em um desafio a ser enfrentado no setor ambiental, tendo em vista a busca do ordenamento das atividades humanas e a minimização dos impactos antrópicos nos seus diversos ecossistemas.

A zona costeira (ZC) é reconhecida por apresentar usos múltiplos dos espaços e dos recursos naturais, com variadas formas de ocupação e desenvolvimento das diversas atividades humanas (Mello *et al.* 2013). No entanto, os ambientes da zona costeira caracterizam-se pela sua complexidade e por sofrerem influências diversas de natureza antrópica, climática, fluvial, biológica, oceanográfica, cósmica, entre outras (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008). Nesses ambientes, são as ações antrópicas que têm gerado a maioria dos desequilíbrios ao longo dos anos de ocupação.

Moraes (1999) argumenta que a conjunção entre a celeridade e o volume dos processos urbanizadores, bem como a fragilidade das áreas envolvidas, define a premência da ação de planejamento na zona costeira, seja o planejamento preventivo nas áreas ainda sem ocupação, ou corretivo que especifique soluções para os problemas já existentes.

A necessidade de se integrar a gestão estuarina, costeira e de bacias hidrográficas ao nível internacional ficou explicitada na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio 92), na Agenda 21 no seu capítulo 17, sobre a proteção dos oceanos, de todos os tipos de mares e das zonas costeiras, abrangendo a proteção, uso racional e desenvolvimento de seus recursos vivos.

No Brasil, a Câmara Técnica de Integração da Gestão de Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira – CTCOST do Conselho

Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) tem fomentado a integração dos instrumentos de gestão destas duas políticas (NICOLODI, ZAMBON e BARROSO, 2009).

As bacias hidrográficas e a área costeira estão intimamente conectadas. Assim, é necessário compatibilizar os objetivos de gestão, sendo que para que esta seja eficiente precisa ser exercida como um único sistema.

As bacias hidrográficas estão conectadas à zona costeira por fluxos hidrológicos como água, sedimentos, matéria orgânica e inorgânica, e espécies biológicas que, em parte, condicionam a dinâmica do ambiente marinho adjacente. Diversas atividades humanas desestabilizam a integridade dos ecossistemas costeiros e colocam em risco a provisão dos bens e serviços proporcionados por estes sistemas (NICOLODI, ZAMBON e BARROSO, 2009).

Por outro lado, a ação antrópica, ao utilizar os recursos hídricos da bacia hidrográfica (BH), diminui o fluxo de água doce ao estuário. A retirada ou retenção de água a montante na bacia hidrográfica acarreta uma maior intrusão das águas marinhas para o continente no ambiente aquático. Quanto mais o mar penetra no continente, menor é a disponibilidade de água doce na zona costeira que, devido à mistura com a água do mar, se torna salgada- salobra, ou seja, águas sob influências marinha e flúvio- marinha (LOITZENBAUER e MENDES, 2011).

Em termos de divisão territorial da gestão pública, o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) do Brasil refere-se apenas às bacias hidrográficas onde não há influência marinha, enquanto que o Gerenciamento Costeiro, institucionalmente separado do SNRH, é exercido na ZC, segundo a sua delimitação.

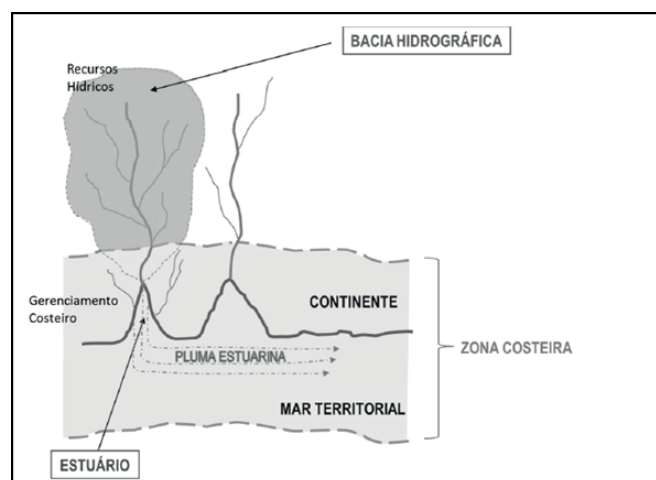
Um diagrama conceptual simplificado dos fluxos de água mar-continente, onde as interações entre a bacia hidrográfica e a ZC ocorreriam, é apresentado na Figura 2.2.

Figura 2. 2 - Divisão territorial da gestão costeira e de recursos hídricos no Brasil.

Fonte: Loitzenbauer e Mendes, 2015

Figure 2.2 – Territorial division of coastal management and water resources in Brazil.

Source: Loitzenbauer e Mendes, 2015.



No Brasil, têm ocorrido diversos exemplos do fenômeno do avanço da pluma salina, principalmente devido à construção de barragens no continente, como se observa no baixo curso do rio São Francisco. De acordo com Medeiros, Santos, *et al.*, (2014), a variabilidade natural associada à variação do fluxo anual de água doce, no estuário do Rio São Francisco, sofreu alterações significativas.

Nesse contexto, à luz da observação dos processos de ocupação da zona costeira com atividades antrópicas e da ocorrência de estruturas de retenção do escoamento natural dos cursos de água a montante, torna-se cada vez mais importante dotar as normas decisórias com instrumentos normativos que permitam avaliar a evolução e o impacto das medidas tomadas para o ordenamento e gestão dessa zona.

Contudo, o leque de problemas não se restringe aos processos acima citados, tendo em conta os desastres que podem ocorrer em áreas a montante, como os despejos de poluentes da indústria, da agricultura ou de sedimentos de mineração nos cursos de água com efeitos que podem ser extremamente danosos para o ambiente flúvio-marinho.

O exemplo do maior desastre ambiental brasileiro foi o rompimento da barragem de Fundão, de acumulação de rejeitos de mineração de ferro, ocorrido em 2015, atingindo os rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no seu alto curso no estado de Minas Gerais. A pluma de sedimentos decorrente do rompimento percorreu 663 km, com graves consequências na zona costeira e no mar territorial

entre os estados do Espírito Santo e da Bahia, tendo afetado vários ecossistemas de reprodução de diversas espécies de animais, o que gerou uma grande preocupação com a questão de barragens de rejeitos nas bacias hidrográficas (LACAZ, PORTO e PINHEIRO, 2016). Ficou evidenciado, mais uma vez, que os problemas das zonas costeiras não podem ser resolvidos apenas com a gestão costeira, pois a costa é uma parte essencial da bacia hidrográfica (MONTEIRO e MARCHAND, 2009).

Deve ser clarificado que a zona costeira é parte essencial da bacia hidrográfica e, portanto, os problemas não deveriam ser abordados tão somente considerando os limites dessa zona.

Nesse sentido, ressalta-se a importância da gestão integrada, principalmente entre os recursos hídricos de montante, destacando-se os de superfície e a ZC, considerando um processo de interação mútua, com repercussões nos sistemas físicos, biológicos e socioeconômicos.

Na verdade, não é fácil de estabelecer critérios para a delimitação da ZC abrangendo todos os aspectos que possam levar em conta as influências e interações entre os processos gerados pelos diversos interagentes no âmbito ZC-BH. No entanto, alguns autores têm apontado critérios destacando os aspectos geográficos, operacionais, eco-sistêmicos e arbitrários, e outros, como os limites municipais, (KAY e ALDER, 2005; GIRALDO *et. al.*, 2010; BARRAGÁN, 2014; BARRAGÁN e ANDRÉS, 2016; BATISTA, SUAREZ e SALTAREN, 2017).

Devem ser realçados os critérios relativos às variáveis biofísicas, que descrevem as características biológicas e físicas do território, como as variáveis naturais, decorrentes de fenômenos e processos naturais, e as variáveis antrópicas decorrentes e dependentes da ação humana. Não menos importantes, para a consideração na delimitação da ZC, são as variáveis socioeconômicas que descrevem características sociais e de atividades econômicas.

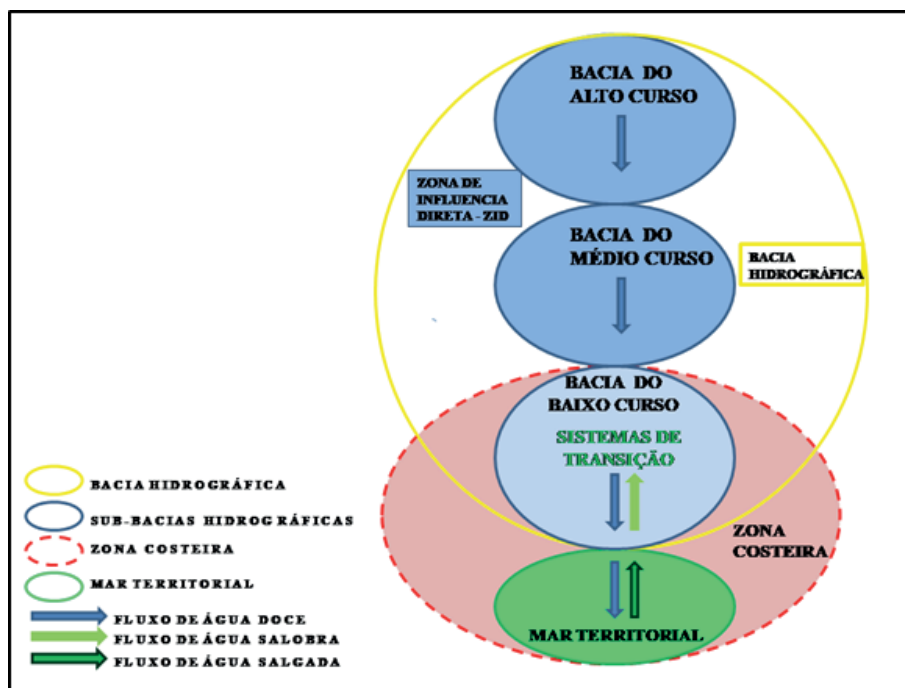
As bacias hidrográficas e suas zonas costeiras devem ser representadas considerando as unidades complexas constituídas por inter-relações organizacionais entre seus sistemas e potenciais geradoras de emergências (BARROS, 2007).

Na Figura 2.3 um diagrama conceptual mais detalhado esclarece a esquematização dos ambientes de transição envolvendo os fluxos hídricos entre a bacia hidrográfica e o sistema costeiro, e vice-versa. Nessa figura, a inter-

relação entre os fluxos variáveis no espaço e no tempo, pode ser visualizada, inclusive com a percepção do processo de mistura de águas doce-salobra-salgada, na BH e na ZC, com suas parcelas bem definidas relativas aos componentes dos sistemas de gestão de recursos hídricos e do gerenciamento costeiro, respectivamente. Os sistemas de transição ocorrem especificamente na ZC na porção da BH equivalente ao baixo curso do rio principal. É considerada a BH em suas porções contribuintes ao alto e médio cursos do rio principal como Zona de Influência Direta (ZID).

No estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil, diversos conflitos têm sido observados na zona costeira Sul com notórias repercussões na disponibilidade hídrica e na qualidade da água nas bacias costeiras dos rios Gramame, Abiaí e Goiana, implicando impactos nas condições da vida aquática nesses rios. Alguns exemplos dizem respeito à captação de água para agricultura irrigada em trechos sujeitos a variações de salinidade da água do rio, destruição e aterro de manguezais para ocupação urbana, construção de barragens para captação de água de abastecimento humano, despejos industriais a montante, entre outros.

Figura 2. 3 – Esquema da inter-relação espacial do sistema costeiro e da bacia hidrográfica
Figure 2.3 - Schematic of the spatial interrelationship of the coastal system and the hydrographic basin



À luz dessa problemática e dos conceitos anteriormente abordados, trata-se neste trabalho da delimitação de áreas suscetíveis aos efeitos da ação oceânica no continente com base em critérios que são descritos em trabalhos referentes à gestão costeira. No entanto, há consciência da necessidade de incorporar os efeitos das ações antrópicas em áreas a montante da zona costeira, por meio da delimitação de uma zona de influência direta (ZID) definida como as parcelas das BH contribuintes ao alto e médio curso do rio principal. A ZID é considerada como integrante da problemática dos processos inerentes aos recursos hídricos da bacia hidrográfica no continente.

São mostradas e analisadas as delimitações para a Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), na região Nordeste do Brasil, com base nos conceitos clássicos e em critérios que são estabelecidos para esta finalidade, inclusive os legais.

2.2 ASPECTOS CONCEPTUAIS E CRITÉRIOS PARA A DELIMITAÇÃO DA ZC

Apesar do conceito de zona costeira ter aparecido pela primeira vez na Recomendação nº 92 do Plano de Ação pelo Meio Ambiente, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida como Conferência de Estocolmo, de 1972, a definição de zona costeira ainda é objeto de discussões.

O limite é um princípio organizador do intercâmbio, seja qual for sua natureza, não só para os territórios que delimita como para o sistema no seu conjunto, sendo-lhe atribuído o papel de regulador das relações (MACHADO, 1998).

Os limites da ZC devem ser concebidos com base nos problemas específicos dessa zona e adaptados de acordo com as metas e objetivos desejados para os programas de gestão costeira integrada, visando capturar e permitir a resolução de todas as questões costeiras centrais (SORENSEN e MCCRARY, 1990; CLARK, 1997).

As ZCs são únicas e identificadas apenas na costa abrangendo influências das marés diárias e ondas de tempestades, presença de florestas de mangue, recifes de coral, planícies de maré, áreas húmidas, praias marítimas, estuários e ilhas. Assim a delimitação da ZC deve corresponder às unidades físicas ou ecológicas da costa (CLARK, 1997).

A ZC é constituída de três regiões: a litorânea, a costeira e a oceânica.

“A região litorânea é integrada por ecossistemas onde ocorrem os maiores impactos ambientais das atividades humanas. Apresenta forte interação com ecossistemas terrestres, e com estes tem em comum inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas. Ecossistemas continentais relevantes ao meio ambiente: bacias hidrográficas, matas costeiras. Ecossistemas litorâneos: estuários, manguezais, praias, costões rochosos, lagunas, baías. A região costeira é composta pelo ambiente marinho que se situa entre a linha de costa e a plataforma continental. A região oceânica a partir da plataforma continental é o domínio dos peixes migratórios”. (Diegues, 2001).

Batista *et al.* (2017) adotam a palavra demarcação aos limites da zona costeira quando se referem ao estabelecimento de programas integrados de manejo, enquanto a palavra delimitação é usada para os limites terrestres e marinhos costeiros, visando o planejamento integrado do uso da terra.

2.2.1 Limites para a ZC no contexto internacional

Os limites da zona costeira são muitas vezes arbitrariamente definidos, diferindo em cada país, e são frequentemente baseados em limites jurisdicionais ou por razões de facilidade administrativa. Para fins de planejamento prático, a zona costeira é uma área especial dotada de características especiais cujas fronteiras são muitas vezes determinadas pelo problema específico a ser enfrentado (BANK, 1993).

Evidentemente, não existindo um sistema padrão para a definição da delimitação da ZC que deva ser seguido internacionalmente, cada país aborda o seu sistema e realiza sua delimitação de acordo com sua realidade. No entanto, na observação de planos de gestão costeira de diversos países podem ser observadas divisões da ZC em duas faixas, com extensões que variam de acordo com as necessidades e características locais (BARROS, 2007).

Os Estados Unidos da América, segundo o Office of Ocean and Coastal Resource Management – OCRM (2005), através do Coastal Zone Management

Act (CZMA), dividiram a zona costeira em duas faixas: a faixa terrestre, estendida até as áreas com possibilidades de impactos adversos para os ecossistemas litorâneos, e a faixa marinha estendendo-se até ao limite da jurisdição federal (CZMA, 1972). Os estados ficam responsáveis pelo estabelecimento da sua delimitação da ZC, levando em consideração as suas características e os seus critérios específicos, além de definir os programas de gestão costeira segundo os interesses da gestão local, a serem aprovados pelas autoridades federais.

Em Portugal, a ZC foi definida através da Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC - aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009, de 8 de setembro). Assim é definida como a porção de território influenciada direta e indiretamente, em termos biofísicos, pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que, sem prejuízo das adaptações aos territórios específicos, tem, para o lado de terra, a largura de 2 km medida a partir da linha da máxima da preia-mar de águas vivas equinociais e se estende, para o lado do mar, até ao limite das águas territoriais, incluindo o leito (Portugal, 2009). Define também o Litoral como o termo geral que descreve as porções de território que são influenciadas direta e indiretamente pela proximidade do mar, o que, na verdade, corresponde à ZC conforme definido noutros países como, por exemplo, nos Estados Unidos ou no Brasil.

Para a Comissão Europeia (EUROPEAN, 1996), a zona costeira é definida como uma faixa de território terrestre e marítimo de largura variável, dependendo da natureza das necessidades ambientais e de gestão. Raramente corresponde às unidades administrativas ou de planeamento existentes. No que diz respeito à pesca, é comum limitar a zona costeira às águas territoriais, tal como definidas na Convenção sobre o Direito do Mar, embora este limite não corresponda a nenhuma unidade biológica ou de gestão distinta. Os sistemas costeiros naturais e as áreas em que as atividades humanas envolvem a utilização de recursos costeiros podem, por conseguinte, prolongar-se desde os limites das águas territoriais até vários quilómetros para o interior.

Em Cuba, a zona costeira é definida como a zona marítimo-terrestre de largura variável, onde ocorre a interação entre a terra, o mar e a atmosfera, mediante processos naturais. Nela se desenvolvem formas exclusivas de ecossistemas frágeis onde são exercidas relações particulares económicas, sociais e culturais (CUBA, 2000).

A zona costeira brasileira, considerada patrimônio nacional pela Carta Magna, é uma região de grande extensão e complexidade, inclusive ambiental, devido à riqueza dos seus ecossistemas (FREITAS, 2015).

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) brasileiro, instituído pela Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988, define a zona costeira como “o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo os seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre” (Brasil, 1988). No período entre 1991 e 1997, o PNGC foi reestruturado e reformulado, sendo reavaliados todos os entraves de cunho metodológico, operacional e institucional (Moraes, 1999). A Resolução do Conselho Interministerial dos Recursos do Mar (CIRM) nº 5, de 3 de dezembro de 1997, aprovou o PNGC II, que se encontra em vigor até os dias atuais. O PNGC II estabelece diretrizes comuns e articulações sistemáticas entre as políticas setoriais para a zona costeira (BRASIL, 1997a).

O PNGC II especifica os limites para a zona costeira da seguinte forma: 1) na faixa marítima, o mar territorial, com limite nas 12 milhas náuticas contadas da linha de base da costa; 2) na faixa terrestre, considera-se todo o território dos municípios qualificados como costeiros. Assim, foram definidos no âmbito do PNGC II cinco critérios para definir a relação de municípios que fazem parte da zona costeira brasileira, ligados a:

- a) municípios defrontantes com o mar, assim considerados em listagem desta classe, estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE);
- b) municípios não defrontantes com o mar que se localizem nas regiões metropolitanas litorâneas;
- c) municípios contíguos às grandes cidades e às capitais estaduais litorâneas, que apresentem processo de conurbação;
- d) municípios próximos ao litoral, até 50 km da linha de costa, que aloquem, em seu território, atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental sobre a Zona Costeira, ou ecossistemas costeiros de alta relevância;
- e) municípios estuarinos-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar, dada a relevância destes ambientes para a dinâmica marítimo-litorânea; e

f) os municípios que, mesmo não defrontantes com o mar, tenham todos seus limites estabelecidos com os municípios referidos nas alíneas anteriores.

O Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla) foi criado pelo governo brasileiro para responder a demandas de ordenamento do uso e ocupação das bordas litorâneas, que se tornaram evidentes na prática da gestão ambiental e patrimonial, como reflexo da fragilidade dos ecossistemas, da falta de planejamento, do crescimento desordenado das cidades, do aumento dos processos erosivos e das fontes contaminantes da orla (LOUREIRO FILHO, 2016). Nesse projeto está definido que a orla cobriria uma parte específica da ZC, a área de contato imediato terra/mar e de interface de processos terrestres e aquáticos, sendo, portanto, a borda marítima, estuarina ou lagunar da zona costeira (MORAES e ZAMBONI, 2005). Portanto, foram estabelecidos os limites para a orla, na área marinha, na isóbata dos 10 m e, na área terrestre, 50 m em áreas urbanizadas e 200 m em áreas não urbanizadas, contados na direção do continente, a partir do limite de contato terra/mar, em qualquer uma de suas feições: costão, praia, restinga, duna, manguezal, entre outros.

Diante das recentes questões que têm sido consideradas, como os efeitos da elevação do nível médio da água do mar e a intensificação da urbanização dos litorais, novas perspectivas têm sido abordadas pelos mecanismos legais Brasileiros, como é exemplo disso o projeto Nº 6.969, de 2013 (DEPUTADOS, 2013), que trata sobre a instituição da Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro e se encontra ainda em tramitação na Câmara dos Deputados. Os objetivos contidos nesse projeto de lei são: i) promover o uso sustentável de recursos e ecossistemas marinhos; ii) garantir a conservação da biodiversidade; promover o desenvolvimento científico e tecnológico; iii) monitorizar, prevenir, mitigar e, excepcionalmente, compensar impactos negativos da atividade humana realizadas no Bioma Marinho Brasileiro, que devem ser harmonizados com as atividades econômicas, de segurança e de defesa nacional. Um passo importante foi dado em novembro de 2017, por meio do lançamento de Termo de Referência, objetivando a contratação de pessoal para a elaboração de uma metodologia que vise a delimitação da ZC Brasileira na sua parte continental.

2.2.2 Critérios para a delimitação da ZC

Diversos países costeiros têm atuado no sentido de tentar estabelecer critérios de demarcação visando a gestão integrada da zona costeira, principalmente após a Rio 92.

Não deve haver dúvidas que a área de estudo a ser delimitada refere-se a uma área ou zona que possui uma forte interação pelo grau de influência entre a terra e o mar com o propósito de planejamento e gestão costeira.

Kay e Alder (2005) relatam que a nível político os limites das áreas costeiras podem ser definidos de quatro maneiras possíveis:

- definições de distância fixa, que, como o nome indica, especificam uma distância fixa da costa, que é considerada “costeira”. Normalmente esta distância é calculada a partir de alguma medida da fronteira entre a terra e a água na costa, geralmente a marca de água alta;
- definições de distância variável, em que os limites não são fixos, mas variam ao longo da costa de acordo com um intervalo de variáveis, tais como: características físicas - por ex. o limite terrestre de ocorrência de dunas; características biológicas
 - por ex. o limite terrestre de um complexo de vegetação costeira; pontos de referência construídos - por ex., estradas, canais, ferrovias ou edifícios conhecidos, e limites administrativos
 - por ex. limite terrestre dos municípios de frente ao oceano;
- definição de acordo com o uso da área costeira e respetivo propósito. Jones e Westmacott (1993), apud Kay e Alder (2005), definiram, dentro desse contexto, o conceito de “focos de área”, onde se define:
 - uma área administrativamente designada, bem como ónus e responsabilidade da sua gestão;
 - uma área de ecossistema;
 - uma área de base de recursos, por ex. um corpo mineral, campos de petróleo, habitats e
 - uma área de demanda, ou seja, a área mais ampla a partir da qual as

demandas são exercidas na área costeira designada, como por ex. para uso em recreação, transporte marítimo ou descarte de resíduos;

- definições híbridas, que se referem ao agrupamento de mais de uma das definições acima em seu limite costeiro, considerando os interesses da área.

Os autores mencionados realçam que ao definir a costa de acordo com um único uso, podem ser perpetuados sistemas de gestão sectorial e prejudicar uma perspectiva de gestão integrada. Por outro lado, é preciso ter cuidado para evitar que várias definições de áreas costeiras sejam estabelecidas em uma região para tratar de diferentes questões de gestão costeira, podendo originar um quadro confuso.

Giraldo, Correa, *et al.*, (2010) elaboraram um guia metodológico para o manejo integrado da zona costeira na Colômbia, baseado num conjunto de critérios técnicos e categorias de zoneamento previamente definidos, que foram levados posteriormente aos processos participativos, visando desenvolver um processo de planeamento para a representação das necessidades, valores e ideias da sociedade local. Foram criadas categorias de zoneamento que definiram os ciclos de planeamento de acordo com um modelo que combina as características naturais da área, com seus objetivos de gestão e modo de administração, por meio de mapas temáticos, para uma análise espaço- temporal. A caracterização e o diagnóstico de cada componente do estudo, incluindo três tipos de análise ou etapas metodológicas para percepção da zona costeira: i) espaço onde ocorrem problemas ou situações críticas que devem ser resolvidas prioritariamente; ii) espaço onde convergem conflitantes e compatibilidades, e iii) espaço onde existem potencialidades. Para cada unidade de área ou de gestão são apontados os seus usos e as suas restrições, de acordo com as definições de uso desejáveis, condicionais ou proibidos.

Barragán (2014) relata três critérios gerais que são estabelecidos para a delimitação da ZC: Geográficos, os que são propostos com base nas características físicas e humanas da área costeira, na escala de trabalho (por exemplo, ecossistemas, infraestruturas, áreas funcionais tais como regiões urbanas ou áreas metropolitanas); Operacionais que são aqueles ligados à

oportunidade ou às causas que originam a ação (por ex., problemas), ou aqueles que facilitam a própria gestão (por ex., unidades legais, políticas e administrativas) e Arbitrários, aqueles que são estabelecidos, arbitrariamente, de certas distâncias (ou até uma certa altitude, um nível batimétrico específico).

Barragán e Andrés (2016) realizaram a delimitação de áreas costeiras na Espanha tendo como objetivo a definição de uma gestão integrada. Consideram, no modelo resultante, tanto o ambiente terrestre quanto o marinho, e especificam três zonas bem diferenciadas: Costa, Litoral e Área de Influência Litoral. Definiram a interpretação do litoral como um sistema sócio- ecológico, usando critérios geográficos, ecológicos e político-administrativos.

Batista *et. al.* (2017) aplicaram uma metodologia para integrar a bacia hidrográfica, a zona costeira e as suas zonas económicas correspondentes, em Santiago de Cuba. Esta metodologia é composta por variáveis dependentes e independentes para a aplicação de iniciativas de Gestão Integrada da Zona Costeira e Planeamento do Uso da Terra. Delimitaram duas unidades geosistêmicas, Unidade Básica Costeira Ambiental para Gestão Integrada (PECUIM) e Unidade Costeira Ambiental para a Gestão e Ordenamento do Território (BECUIMLUP). Os resultados obtidos demonstraram a sua eficiência como uma ferramenta visual para a tomada de decisões visando a implementação de programas de gestão na área.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Caracterização da área de estudo

A ocupação do litoral do Nordeste brasileiro ocorreu a partir do século XVI, inicialmente motivada pela exploração do pau-brasil pelos portugueses que, de fato, não eram exploradores exclusivos uma vez que ingleses, holandeses e principalmente franceses também passaram a frequentar a costa brasileira. A exploração do pau-brasil foi considerada como o primeiro ciclo econômico do Brasil. Em seguida, a indústria do açúcar, implantada pelos portugueses e expandida pelos holandeses, prosperou até o século XX, com a cana de açúcar ocupando grandes espaços no litoral do Nordeste, por conta dos programas

governamentais de incentivo à produção do açúcar e do álcool (MATOS DE CARVALHO, 1998).

No estado da Paraíba, a ocupação dos espaços litorâneos da região Sul, além da cultura da cana de açúcar, tem se acentuado principalmente após a estabilização econômica do Brasil ocorrida nos anos 1990. Desde então, diversos projetos viários, de loteamentos e de indústrias têm sido implantados. Devem ser destacadas a efetivação da duplicação da rodovia BR-101, entre João Pessoa, capital do estado da Paraíba, e Recife capital do estado de Pernambuco, ao Sul, e a rodovia estadual Ministro Abelardo Jurema (PB-008), entre João Pessoa e o município de Pitimbu, vizinho ao município de Goiana no estado de Pernambuco. Ambas facilitam a acessibilidade entre os aglomerados urbanos de João Pessoa e de Recife e têm propiciado a implantação de diversos empreendimentos entre essas cidades.

Esse é o contexto da região das bacias hidrográficas do Litoral Sul paraibano, em que houve, ao longo dos séculos, a destruição da Mata Atlântica, substituída pela ocupação majoritária da atividade agrícola com culturas diversas (cana de açúcar, batata doce, mandioca, abacaxi, macaxeira, inhame, bambu, acerola etc.), além da expansão urbana.

A área de estudo (Figura 2.3) localiza-se nas regiões geográficas Imediatas e Intermediárias de João Pessoa, no Nordeste do Brasil, e é composta pelas BH dos rios Gramame, Abiaí e parcialmente da BH do rio Goiana, entre outras de menor porte, como as dos rios Gurugi, Graú e rio Mucatú. Esta área geográfica corresponde à área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul, Resolução nº 03 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba (CERH, 2003).

Os municípios inseridos na área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (CBHLS), total e parcialmente são: Alhandra, Caaporã, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Pedras de Fogo, Pitimbu, Santa Rita e São Miguel de Taipu.

Nesses municípios, além das populações urbana e rural, encontram-se difusas comunidades quilombolas, populações indígenas e assentamentos rurais.

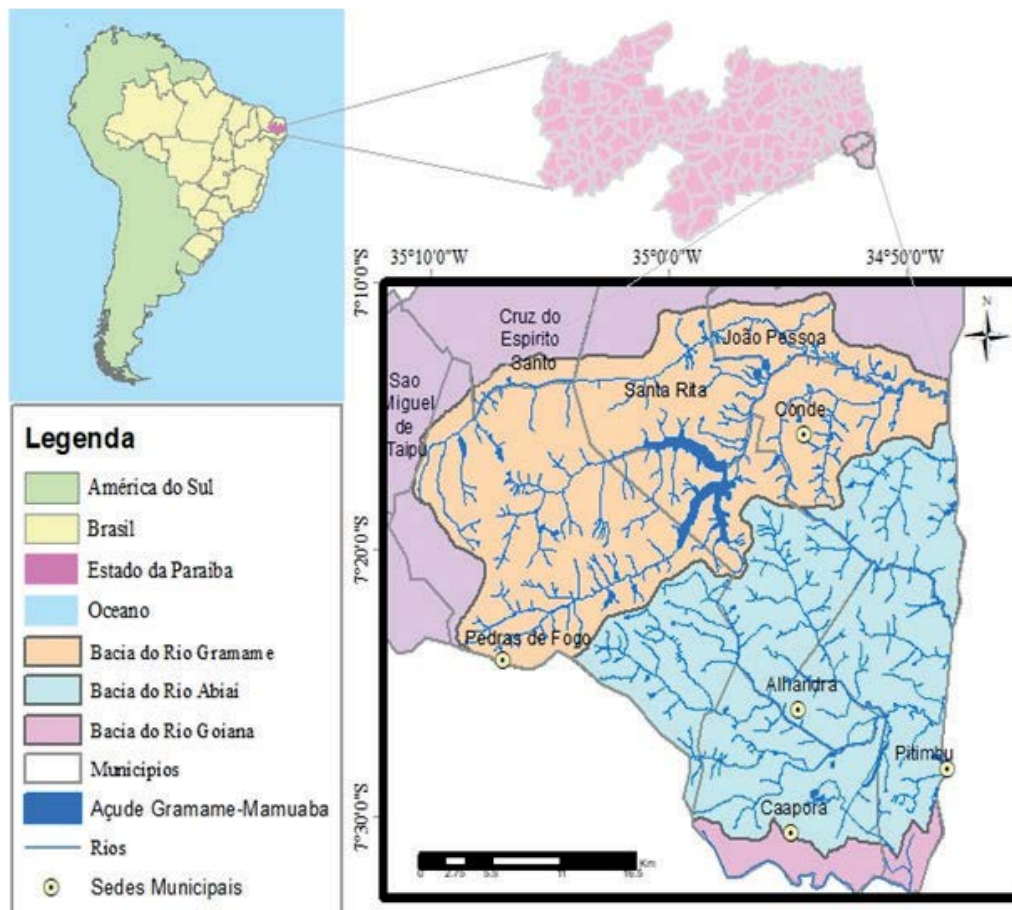
O município de João Pessoa, com uma participação na área de atuação no CBHLS de apenas 4,65%, apresenta a maior concentração de indústrias, ao Norte, nas vizinhanças da rodovia BR-101. Também ocorrem, em menor

quantidade, indústrias nos outros municípios, com exceção de São Miguel de Taipu, principalmente para produção de cimento, tintas, etanol e açúcar.

Apesar de todas as sedes municipais da área de atuação no CBHLS contarem com abastecimento de água, o município de João Pessoa apresenta sistema de coleta e tratamento de esgotamento sanitário em 100% da sua área, e em Pedras de Fogo essa taxa é de apenas 11,6%. Os demais municípios não são atendidos com esses sistemas (ANA, 2017).

A BH do Rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, no Litoral Sul do Estado da Paraíba (Figura 2.3). A área de drenagem da BH é de 589,1 km². O principal curso de água é o rio Gramame, com extensão de 54,3 km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa. O açude Gramame-Mamuaba é o principal reservatório hídrico com capacidade máxima de acumulação de 56,9 milhões de m³, e está localizado no município de Alhandra. Sua principal finalidade é de suprir as demandas por água da cidade de João Pessoa e municípios vizinhos.

Figura 2. 4 – Área de estudo com os limites municipais, hidrografia e bacias hidrográficas
Figure 2.4 – Study area with municipal boundaries, hydrography and watersheds.



A bacia hidrográfica do rio Abiaí, entre as latitudes 7°10' e 7°30' Sul e entre as longitudes 34°48' e 35°06' Oeste, tem uma área de 449,5 km² e um perímetro de 110,5 km. O rio Abiaí, com uma extensão de 28,2 km, apresenta como seus principais afluentes os rios Taperubus e Cupissura e o riacho Pitanga. Possui uma área de drenagem de 450 km².

A BH do rio Goiana está localizada na porção oriental Norte do Estado de Pernambuco, entre as latitudes Sul 07° 22' e 07° 54', e entre as longitudes Oeste 34° 49' e 35° 41'. A BH do rio Goiana apresenta uma área de 2.847,5 km². A área que se localiza no estado da Paraíba corresponde a 48,1 km², correspondendo uma percentagem de 1,69% de toda BH do rio Goiana. Fazem parte da BH, no estado da Paraíba, os municípios de Pitimbu e Caaporã. A rede hidrográfica da BH do rio Goiana no estado de Pernambuco tem como principais cursos de água os rios Capibaribe-Mirim, Siriji e Tracunhaém.

Na região composta pelas áreas do CBHLS existem duas áreas destinadas à conservação e à preservação ambiental. A área de Proteção Ambiental Estadual de Tambaba (Decreto Estadual Nº 276 /1991), com 114,5 km², é administrada pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Paraíba, 1991). Essa área abrange partes dos municípios de Conde, Alhandra e Pitimbu, com expressiva presença de fragmentos de Mata Atlântica primária e de manguezais. Mais ao Sul, a Reserva Extrativista Acaú-Goiana (RESEX Acaú-Goiana), administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, localiza-se nos municípios de Pitimbu e Caaporã na Paraíba e de Goiana, no vizinho estado de Pernambuco, na parte estuarina do rio Goiana, com área de 8,06 km² no lado paraibano e 114,2 km² no lado pernambucano (BRASIL, 2000).

A formação litológica da área de estudo é caracterizada pela predominância de rochas sedimentares e sua estrutura estratigráfica está entre Cretáceo e o Pleistoceno, com sua espessura aumentando na direção do oceano. Encontra-se inserida no contexto geológico da Bacia Pernambuco- Paraíba (PIRES, 2015). Segundo Moraes (2009), a bacia do Grupo Paraíba é preenchida por sedimentos de fácies continentais e marinhas reunidas, que é composta por três unidades: Beberibe, Gramame e Maria Farinha; pelas camadas da Formação Barreiras e pelos depósitos quaternários. A Formação Barreiras é a mais extensa da região, composta por sedimentos areno-argilosos não consolidados, de origem

continental, dispostos sobre as Formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha, as mais antigas.

Segundo Pires (2015) a geomorfologia que compreende os terrenos sedimentares é constituída por duas unidades geomorfológicas: Planície Costeira e Tabuleiros Costeiros, caracterizados pelas baixas altitudes. De acordo com o IBGE (2009), as unidades geomorfológicas na área de estudo classificam-se em: planície fluvial, planície flúvio-marinha e tabuleiros costeiros.

Na região litorânea, na planície costeira, são bem definidas duas estações. A estação quente, que permanece por 4 meses, de 22 de dezembro a 21 de abril, com temperaturas máximas médias diárias acima de 31 °C; o dia mais quente do ano ocorre no mês de março, tendo atingido valores de até 33,7 °C; a mínima média é de 26 °C. A estação fresca ou amena permanece por 2,8 meses, de 18 de junho a 12 de setembro, com temperaturas máximas diárias médias abaixo de 29 °C. O dia mais frio do ano ocorre entre o final de julho e início de agosto, com uma temperatura mínima média de 23 °C, e uma temperatura máxima média de 28 °C (WEATHERSPARK, 2018; INMET, 2019).

Nessa região existe uma elevada variabilidade da precipitação, com registros de média de 1.888 mm na estação no bairro Aeroclube no município de João Pessoa, ao Norte da área de estudo, sendo o mês mais chuvoso o de junho, com 320 mm, e o menos chuvoso o de novembro, com 39 mm, em média. Na sede do município de Pitimbu, na porção Sul da área de estudo, a precipitação média anual atinge 2.106 mm, com uma máxima mensal no mês de junho, com 324 mm e a mínima no mês novembro de 49 mm (CLIMATE-DATA, 2018). A classificação climática de Köppen refere-se a tropical chuvoso, tipos Aw e Am (MEDEIROS, FRANCISCO, *et al.*, 2015).

Quanto à vegetação, a área onde se inserem as bacias costeiras do litoral Sul Paraibano possui uma grande diversidade, no qual as unidades fitogeográficas são determinadas além das condições climáticas, pelas condições variadas dos compartimentos morfológicos e pedológicos presentes na região, com destaque para a Mata Atlântica, os Cerrados, os Manguezais e os Campos de Várzea (BEZERRA; CABRAL DA SILVA, (2014); PIRES, 2015).

A planície costeira da Paraíba está submetida às meso-marés com características semidiurnas. A preia-mar máxima DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) de sizígia registrada ao longo de um ano é de 2,7 m e a baixa-mar

mínima de sizígia de 0,3 m. A maré máxima de quadratura é de 1,7 m e a maré mínima de 0,3 m (NEVES, 2003).

2.3.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos adotados para a delimitação ZC-Sul/PB foram baseados nos conhecimentos levantados a partir de informações obtidas através de trabalhos científicos, trabalhos experimentais no campo, mapas e imagens de satélite e nos critérios de Kay e Alder (2005) e de Barragán (2014).

Como critérios geográficos e seus subcritérios, foram consideradas as extensões dos manguezais e áreas húmidas, águas salinas e salobras e o referente ao limite Oeste coincidindo com o traçado da rodovia BR-101, aproximadamente paralela à linha de costa, entre os limites Norte e Sul da área estudada (MATOS DE CARVALHO, 1998).

Para o critério operacional e subcritério foi destacada a lei Brasileira para delimitação da ZC, Lei nº 7.661/1988 (Brasil, 1998), que se refere ao critério político-administrativo.

Como critério arbitrário e subcritério foram consideradas as áreas correspondentes às bacias hidrográficas do baixo curso dos rios Mumbaba, Gramame, Abiaí, Papocas e Goiana, conforme definidos por Barros (2007) e (MMA, 2006).

2.3.3 Aplicação dos critérios de delimitação à ZC-Sul/PB

Visando o processo de delimitação da ZC-Sul/PB, a imagem de satélite *Landsat 7*, obtida no site de acesso livre do *United States Geological Survey* (USGS), do ano de 2013, foi utilizada para gerar os mapas de uso e ocupação do solo da ZC-Sul/PB. O processamento digital da imagem para a obtenção das classes de uso tais como áreas húmidas e manguezais, entre outras, foi realizado utilizando os softwares Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas *SPRING 5.2.7* e *ARCGIS 9.3*. Foram feitas visitas ao campo, no ano de 2018, para averiguação dos usos em áreas específicas. Paralelamente, utilizou-se o software *Google Earth Pro 7.1.5* para dirimir dúvidas que ainda existiam sobre usos e ocupações em algumas áreas.

2.3.3.1 Delimitação com base nos critérios geográficos

- Áreas com ocorrência dos ecossistemas manguezais e áreas úmidas

O subcritério para a delimitação da ZC, considerando a extensão dos manguezais e áreas húmidas ou alagadas que caracterizam o ambiente costeiro e estuarino, é referenciado em vários trabalhos (CLARK,1997; KAY e ALDER, 2005; BARRAGÁN e ANDRÉS, 2016; BATISTA et. al., 2017), e no PNGC II (BRASIL, 2004).

As áreas alagadas ocorrem na parte Sul da bacia hidrográfica do rio Abiaí, nos municípios de Caaporã, Pitimbu e Alhandra, com uma área aproximada de 12 km² no período chuvoso, indicando uma posição mais a Oeste para o limite da ZC. Esta variável não tem limite fixo, variando ao longo no tempo e do espaço.

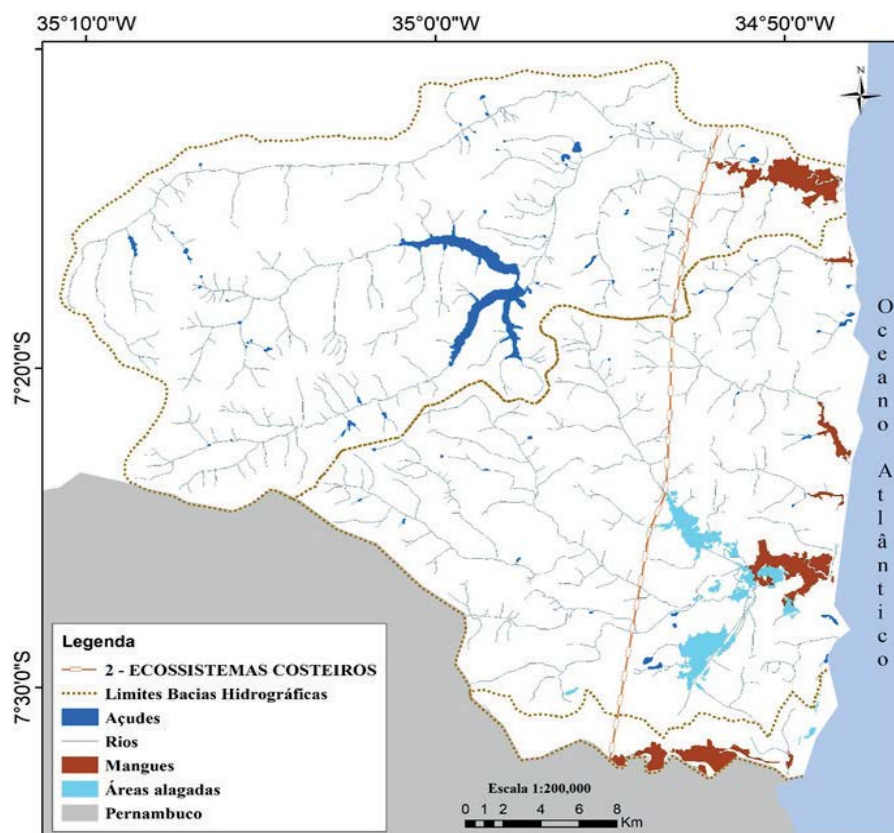
Na ZC-Sul/PB ocorrem seis áreas de manguezais, nos estuários dos rios Gramame, Gurugi, Graú, Mucatú, Abiaí e Goiana, de portes variados, conforme mostrado na Figura 2.5. Os valores das áreas dos manguezais nas áreas estuarinas, dos seus comprimentos máximos e dos municípios de ocorrência constam na Tabela 2.1. Os limites definidores da ZC-Sul/PB são definidos pela conjunção dos limites máximos dos manguezais e das áreas húmidas ou alagadas identificadas na Figura 2.5.

Tabela 2.1 - Características dos manguezais na ZC-Sul/PB.
Table 2.1– Characteristics of the mangroves in ZC-Sul/PB.

Bacia	Rio	Município	Áreas dos manguezais (km ²)	Comprimentos dos manguezais (km)	Áreas da ZC (km ²)
Gramame	Gramame	João Pessoa/Conde	6,98	7,23	45,78
Abiaí	Gurugi ¹	Conde	0,40	1,59	273,6
	Graú ¹	Pitimbu/Conde	1,25	3,68	
	Mucatu ¹	Pitimbu	0,33	2,00	
	Abiaí	Pitimbu	5,79	4,30	
Goiana	Goiana	Pitimbu/Caaporã	5,60	12,53	32,07
Total					351,41

¹ Manguezal na bacia hidrográfica de rio de mesmo nome, considerado como integrante da bacia do rio Abiaí segundo a Resolução nº 03 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (CERH/PB).

Figura 2. 5 – ZC-Sul/PB delimitada pelo critério dos ecossistemas, manguezais e áreas úmidas.
Figure 2.5 – ZC-Sul/PB delimited by the criterion of ecosystems, mangroves and wetlands.



- Áreas referentes à salinidade dos rios – extensão da pluma salina

A extensão máxima da pluma salina no rio principal da BH é o subcritério adotado por alguns autores para a delimitação da ZC (CLARK, 1997; LOITZENBAUER e MENDES, 2011), sendo o limite mínimo de consideração de água salobra do rio de 0,5 ppt, conforme especificado na resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Portanto, o definidor do limite Oeste para a ZC-Sul/PB, é a seção fluvial na qual ocorre esse valor, ou seja, não se observa mais a influência marinha.

A extensão da pluma salina a montante nos rios da planície costeira é considerada máxima nas condições de menor ocorrência de chuvas e de vazão fluvial nos meses de novembro e dezembro, que são os de ocorrência de menor pluviometria na região litorânea Sul simultaneamente às marés de sizígia.

A distribuição da salinidade da água ao longo dos rios Gramame e Abiaí foi obtida por meio de medições com sondas multi-paramétricas, tendo sido obtidos

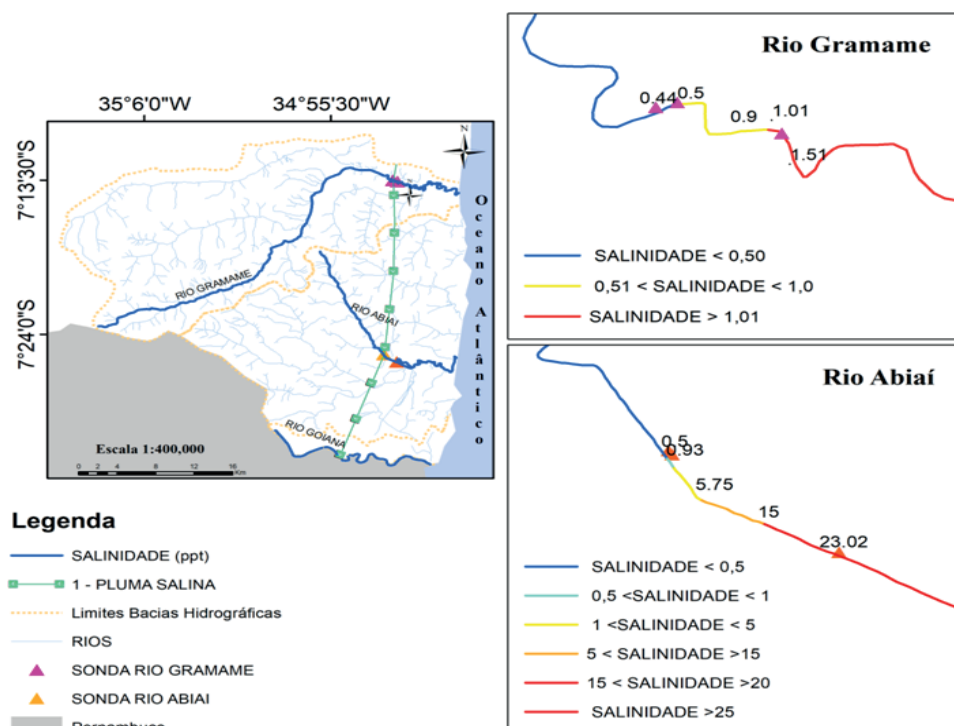
valores variando entre 25 ppt, na região estuarina, até valores menores do que 0,5 ppt a montante.

A delimitação por esse subcritério foi feita com base nos pontos onde a salinidade atingia 0,5 ppt, possibilitando o traçado da linha do limite da ZC, concordando entre esses pontos nos rios Gramame e Abiaí. No rio Gramame a seção de salinidade igual a 0,5 ppt ocorreu a 13,75 km de distância do oceano; no rio Abiaí a seção de salinidade 0,5 ppt ocorreu a 12,54 km de distância do oceano.

No rio Goiana, que limita os estados de Pernambuco e Paraíba, numa parte do seu baixo curso, as áreas de mangue ocorrem até uma distância do mar para o continente de 13,7 km. A partir desse ponto específico o rio muda de direção para Sul, entrando no estado de Pernambuco. Portanto, as distâncias referentes à influência salina na ZC-Sul/PB, abrangem áreas entre a extensão da pluma salina dos rios Gramame e Abiaí, e o rio Goiana até o ponto específico referido. Na Figura 2.6 é apresentada a representação gráfica dos trechos dos rios Gramame e Abiaí com os cartogramas dos valores de salinidade até 0,5 ppt. Esses pontos são os definidores do traçado do limite da ZC-Sul/PB pelo subcritério da extensão da pluma salina.

Os valores das áreas delimitadas da ZC pelo subcritério da pluma salina constam na Tabela 2.1, bem como o comprimento e as áreas da ZC-Sul/PB por BH do rio, além da área total.

Figura 2. 6 – ZC-Sul/PB definida pelo subcritério da pluma salina.
Figure 2.6 – ZC-South/PB defined by subcriterion of saline plume.



- Áreas da ZC delimitadas pelo traçado da rodovia BR-101

A delimitação da ZC-Sul/PB, referente ao critério geográfico de distância fixa, com os seus limites coincidentes com o traçado da rodovia BR-101 no sentido Norte-Sul, é apresentada na Figura 2.7. A área delimitada por esse critério abrange a totalidade dos territórios dos municípios de Caaporã e Pitimbu, que estão a Leste da rodovia BR-101, ou partes no caso dos municípios de João Pessoa, Conde e Alhandra.

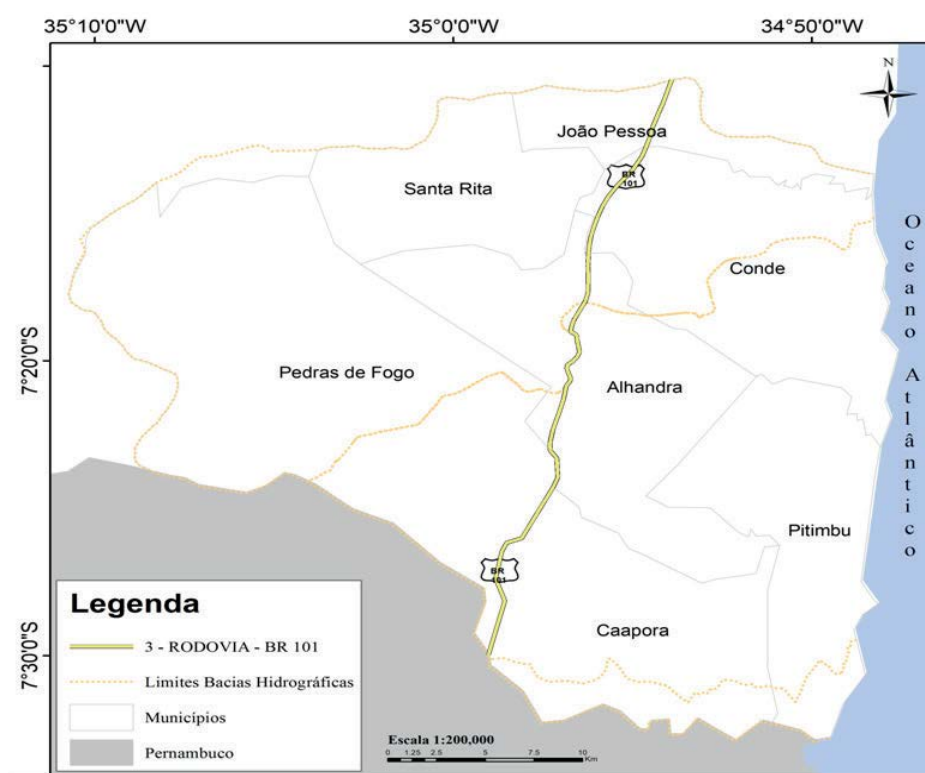
A adoção desse critério de delimitação resultou dos estudos da paisagem costeira realizados por Matos de Carvalho (1998) e que é adotado pelo Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro na Paraíba. Identificaram-se os elementos característicos nas áreas à Leste da rodovia BR-101, como por exemplo, baixas inclinações, presença de planícies, manguezais, áreas húmidas, solos, entre outros elementos do ambiente característico das unidades de paisagem compatíveis com a classificação relativa à zona costeira (MATOS de CARVALHO,

1998). A delimitação da ZC- Sul/PB utilizando este critério é apresentado na Figura 2.7.

Tabela 2.2 – Comprimento da pluma salina nos rios e áreas da ZC-Sul/PB.
Table 2.2 – Saline plume length in the rivers and ZC-South/PB áreas.

Bacia do rio	Município	Comprimento da pluma salina (km)	Áreas da ZC (km ²)
Gramame	João Pessoa/Conde	13,75	36,51
Abiaí	Pitimbu/Alhandra	12,54	223,61
Goiana	Caaporã	13,70	31,14
Total			291,27

Figura 2. 7 – Limite da ZC-SUL/PB referente à rodovia BR-101.
Figure 2.7 – ZC-SUL/PB boundary for the BR-101 highway.



Na tabela 2.3 são apresentados os valores das áreas delimitadas da ZC-Sul/PB pelo traçado da rodovia BR-101, por município e por BH, além da área total.

Tabela 2.3 – Bacias hidrográficas, municípios e as áreas delimitadas da ZC-Sul/PB.
Table 2.3 – Watersheds, municipalities and the delimited areas of the ZC-Sul/PB.

Bacia hidrográfica	Municípios	Áreas da ZC (km ²)
Gramame	João Pessoa/Conde	118,02
Abiaí	Pitimbu/Alhandra/Conde/Caaporã	433,88
Goiana	Pitimbu/Caaporã	47,97
Total		599,87

2.3.2.2 Delimitação com base no critério Arbitrário

- Áreas referentes aos limites dos baixos cursos dos rios Gramame, Abiaí e Goiana

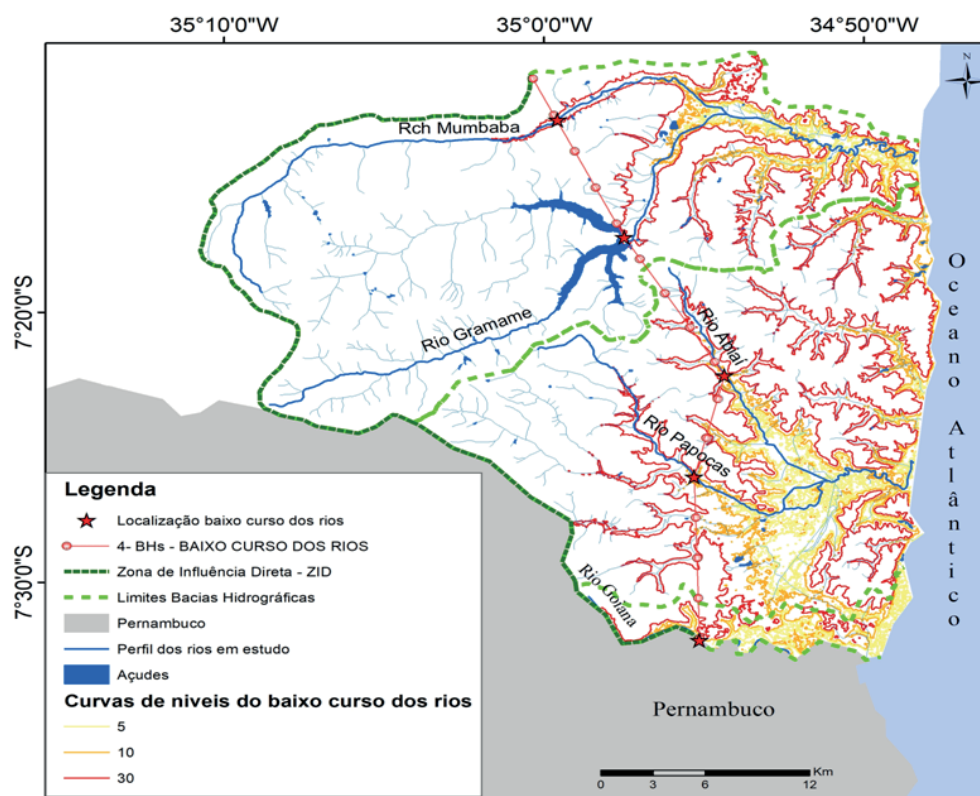
- Este critério teve como referência os estudos de Barros (2007) e MMA (2006). No relatório sobre Subsídios à Discussão do Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas e da Zona Costeira (MMA, 2006), consta que os recortes territoriais referentes à Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997b) e à Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e ao PNGC II (BRASIL, 1988) são distintos e não coincidem entre si. Assim, o relatório afirma que é necessário encontrar a intercessão desses recortes, fornecendo indicações de que a tendência é para se adotar a linha que demarca a bacia hidrográfica contribuinte ao baixo curso do rio como a área correspondente à ZC. Nesse sentido, Barros, (2007) considerou a bacia hidrográfica do baixo curso do rio São João, como um dos critérios para reconhecer a ZC, por possuir uma topografia de áreas de predominância quase horizontal.

A ZC-Sul/PB definida por esse critério, de distância fixa, é apresentada na Figura 2.8. Foram utilizados para o traçado dos limites da transição do médio para o baixo curso dos rios, Gramame, Mumbaba, Abiaí, Papocas e Goiana. Na Figura 2.8 pode ser observado o traçado da linha de delimitação da ZC-Sul/PB, bem como as curvas de níveis das áreas do baixo curso dos rios. Na Tabela 2.4 são mostradas as distâncias da foz no oceano até os pontos definidores da ZC-Sul/PB, bem como as suas áreas da em cada município abrangido.

Tabela 2.4 – Áreas da ZC-Sul/PB por BH, municípios, e distâncias do limite do baixo curso à foz.
 – Áreas da ZC-Sul/PB por BH, municípios, e distâncias do limite do baixo curso à foz.
 Table 2.4 – Areas of ZC-Sul/PB by BH, municipalities and distances from the limit of the lower course to the mouth.

Bacia do rio	Rios	Localização - Município	Distância do baixo curso (km)	Áreas da ZC (km ²)
Gramame	Mumbaba	Santa Rita	23,24	200,90
	Gramame	Conde	22,73	
Abiaí	Abiaí	Alhandra	13,90	334,71
	Papocas	Divisa (Pitimbu/Caaporã)	14,08	
Goiana	Goiana	Caaporã	9,74	33,32
Total				568,93

Figura 2. 8 – Traçado da ZC-SUL/PB pelos limites das BH do baixo curso do rio.
 Figure 2.8 – ZC-SUL / PB traced by the boundary of the BH of the lower river course.

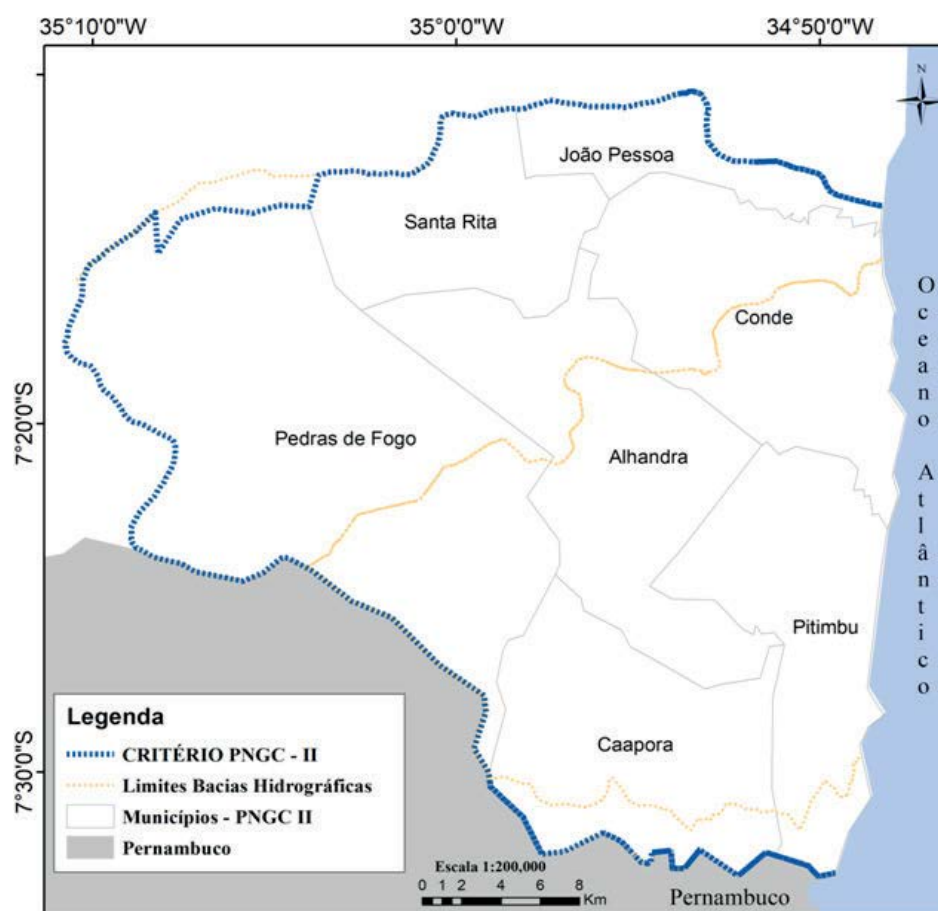


2.3.2.3 Delimitação com base no critério Operacional

- Áreas referentes aos limites dos Municípios Costeiros segundo o PNGC II

Seguindo os parâmetros especificados no PNGC II, como o critério político-administrativo, de distância fixa, o limite da ZC-SUL/PB é definido pelos municípios defrontantes com o mar na área do Litoral Sul (João Pessoa, Conde e Pitimbu); os municípios não defrontantes com o mar onde existem áreas estuarinas (Caaporã e Alhandra); os municípios que apresentam, no seu território, atividades ou infra-estruturas com potencial de grande impacto ambiental sobre a Zona Costeira (Santa Rita com presença de grande barragem do reservatório fluvial Gramame-Mamuaba; Pedras de Fogo com lançamento de esgotos sanitários e empreendimentos poluidores) (Figura 2.9).

Figura 2. 9 – ZC-SUL/PB segundo o PNGC II.
Figure 2.9 – ZC-SUL/PB according to PNGC II.



2.3.4 Síntese das delimitações da ZC-Sul/PB

A visualização do conjunto das delimitações sintetizadas, segundo os cinco critérios referidos, para a ZC-Sul/PB é apresentada na Figura 2.10.

Na Tabela 2.5 são listados os critérios e subcritérios usados e suas características para as delimitações da ZC-Sul/PB, as larguras máximas e mínimas da ZC-Sul/PB até o oceano, e as suas áreas. Apresentam-se ainda os valores da área da ZID e da sua máxima largura.

Delimitações da zona costeira Sul do estado da Paraíba, Brasil

Figura 2. 10 – Representações para a ZC-Sul/PB de acordo com os cinco critérios.
 Figure 2.10 – Representations for ZC-South/PB according to the five criteria.

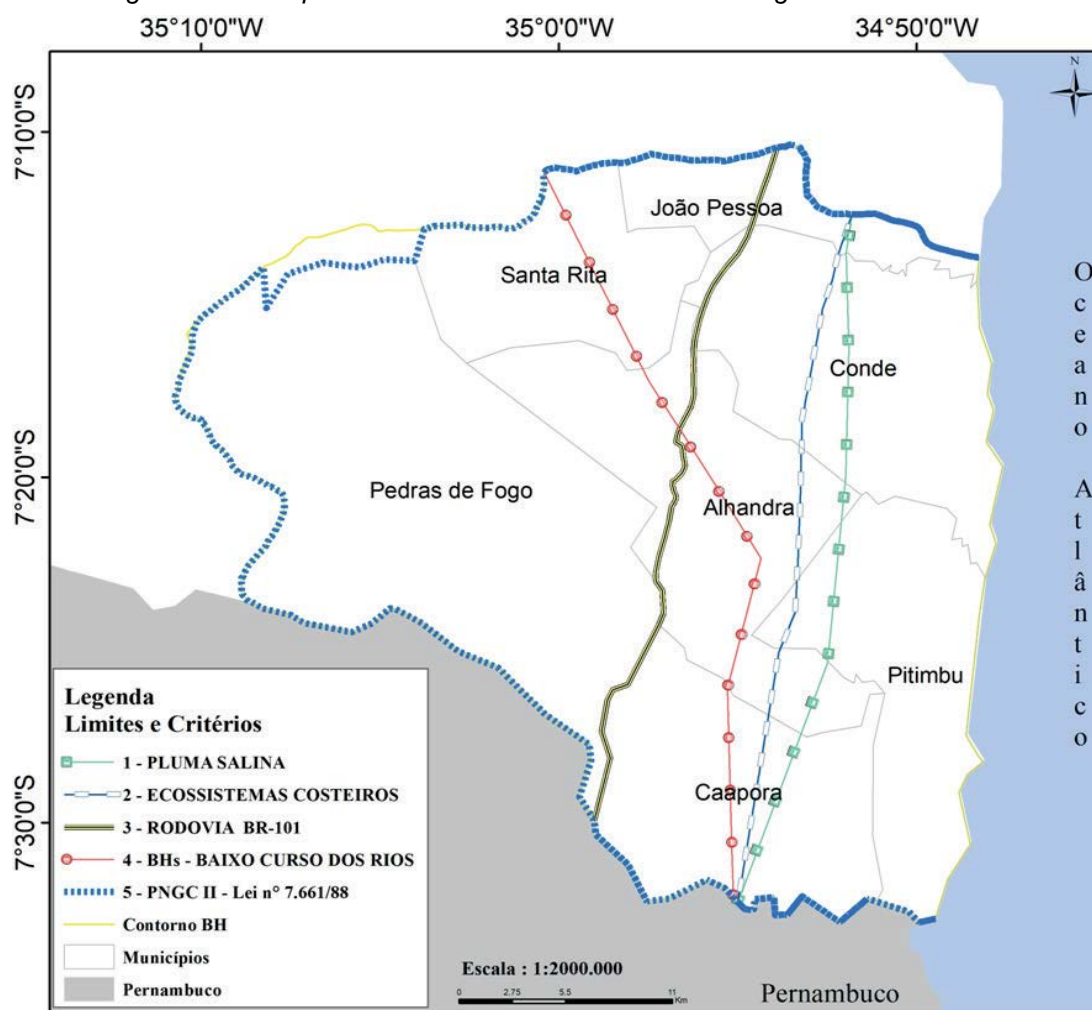


Tabela 2.5 – Critérios, subcritérios, larguras e áreas para a ZC-Sul/PB e ZID.
Table 2.5 – Criteria, subcriteria, widths and areas for ZC-South/PB and ZID.

Critério	Característica	Largura (km)		Áreas da ZC/ ZID (km ²)
		Máxima	Mínima	
Geográfico	Ecosistemas - Limites dos manguezais e áreas alagadas ¹	10,27	7,54	351,40
	Extensão da pluma salina ¹	10,27	9,56	291,27
	Sub-bacias hidrográficas dos baixos cursos dos rios ¹	22,75	10,27	568,98
Arbitrário	Limite referente ao trajeto da rodovia BR-101	19,38	16,53	599,87
Operacional	Limite segundo o PNGC II	42,72	14,30	1.161,82
ZID	BHs contribuintes aos trechos alto e médio dos rios	26,77	-	606,38

¹ Subcritério geográfico.

2.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados relativos às cinco delimitações realizadas de acordo com os critérios especificados neste trabalho, permite se fazer algumas avaliações acerca da representatividade da ZC-Sul/PB como espaço geográfico que seria adequado para as atividades para a gestão da zona costeira.

Deve ficar claro que a ZC-Sul/PB delimitada levando em conta o subcritério da extensão da máxima pluma salina não é suficiente para envolver todas as porções das áreas com características compatíveis com o ambiente próprio de ecossistemas costeiros, uma vez que as áreas alagadas não estão contempladas no seu interior.

Com área um pouco maior do que a delimitada pelo critério da extensão máxima da pluma salina, a ZC-Sul/PB delimitada pelo subcritério dos ecossistemas costeiros contém as áreas onde são exercidas as influências do ambiente flúvio-marinho com as ocorrências das áreas alagadas e a vegetação característica dos manguezais.

A área da ZC-Sul/PB delimitada pelo critério dos limites das BHs dos baixos cursos dos rios Gramame, Abiaí e Goiana, expressa com destaque a amplitude

da planície do rio Gramame, distanciando-se dos limites dos ecossistemas costeiros e da rodovia BR-101, na parte Norte da ZC-Sul/PB.

A leitura das características do espaço litoral feita por Matos de Carvalho (1998), definidora do critério de delimitação pelo traçado da rodovia BR-101 como limite da ZC-Sul/PB, revelou-se bastante pertinente na medida em que abrangeu as delimitações dos critérios relativos aos ecossistemas costeiros e da pluma salina, e boa parte das BHs dos trechos de baixo curso, excetuando-se uma porção Norte da ZC-Sul/PB. A delimitação, com base neste critério, pode ser vista como o de maior coerência, ou mais adequado, uma vez que todos os elementos característicos e definidores da transição entre os domínios continental e marinho se situam a Leste, sem envolver grandes áreas das BHs.

O critério político-administrativo, segundo o PGNC II, é mais conservador, apresentando uma relação de áreas aproximadamente quatro vezes maior do que a área delimitada pelo critério da extensão da pluma salina. Os limites da ZC-Sul/PB, segundo esse critério, são praticamente coincidentes com os limites das BH dos rios nas áreas altas. Verifica-se ainda que a ZC-Sul/PB, segundo esse critério envolve áreas de municípios distantes dos ambientes costeiros.

É de salientar que a RESEX Acaú-Goiana se insere em todas as áreas das ZC delimitadas, enquanto que a APA Tambaba extrapola os limites Oeste da ZC delimitada pelos critérios da extensão da pluma salina e dos ecossistemas costeiros.

A ZID, conforme definido neste trabalho, apresenta uma área um pouco maior do que a área relativa à ZC-Sul/PB definida de acordo com o critério da rodovia BR-101. Nas áreas da ZID se encontram o reservatório Gramame-Mamuaba e o município de Pedras de Fogo, além de diversos empreendimentos de potencial poluidor.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo, embora apresentado no contexto da Zona Costeira Sul do estado da Paraíba, tenta contribuir como um exemplo de aplicação de metodologias que visam preencher uma lacuna ainda existente na literatura específica sobre delimitação de ZC, considerando múltiplas variáveis, podendo ser adaptadas às diversas situações que poderiam ocorrer. Tenta ainda contribuir

com uma breve revisão sobre as influências flúvio-marinhas incluindo a apresentação de um diagrama conceptual das inter-relações espaço-temporais das águas do sistema costeiro e da bacia hidrográfica.

Diversas obras de barramento e captações de água em rios da zona costeira têm sido implementadas, chegando a constituir ameaças a importantes ecossistemas costeiros, como os manguezais, ou o aumento da intrusão salina. Assim, uma definição racional para o limite da ZC deve induzir a localização dessas obras hidráulicas localizadas nas bacias hidrográficas a montante, mas considerando seções de rios de vazões exequíveis para aproveitamento. No entanto, é imprescindível realçar a restrição para a implantação dessas estruturas em sítios suficientemente distantes do limite da ZC, em seções a montante, nas quais não haja indícios da ocorrência de características de ambiente flúvio-marinho.

O presente estudo concentrou-se nas delimitações da ZC-Sul/PB e suas áreas, empregando os critérios e subcritérios Geográficos, Arbitrários e Operacionais. As delimitações mostraram uma grande variedade de áreas para a ZC-Sul/PB, segundo os objetivos expressos nas suas definições. As delimitações referem-se a áreas ou zonas onde deve haver uma forte interação do grau de influência entre a terra e o mar com o propósito de contribuir para o planeamento da gestão de recursos hídricos e da gestão costeira. Trata-se de uma ferramenta de carácter ilustrativo que poderá contribuir para um melhor entendimento da gestão costeira integrada do local estudado, apresentando diferentes possibilidades para a delimitação das zonas costeiras.

Ao contrário da área delimitada para a ZID, alguns limites da ZC-Sul/PB são bastante estreitos, situando-se em unidades geomorfológicas equivalentes, com suas interconexões com os estuários, áreas adjacentes e de terrenos de baixa declividade, por receberem influência direta do mar principalmente na salinidade da água dos rios, devido aos gradientes flúvio-marinhos e o movimento das marés. É o caso da ZC-Sul/PB delimitada considerando os critérios do comprimento da máxima pluma salina e da extensão dos ecossistemas costeiros, que não resultaram em grandes diferenças entre as áreas delimitadas de acordo com esses dois critérios de delimitação.

Devido à baixa ocupação humana, que ainda pode ser observada na área de atuação do CBHLS, a ZC-Sul/PB não foi objeto de delimitação sob a ótica da influência das variáveis relativas às características socioeconômicas.

Os critérios propostos para a ZC-Sul/PB devem ser revistos de forma contínua, devendo fazer parte de um processo de planejamento cíclico, uma vez que os impactos gerados nas BHs a montante e as mudanças no uso do solo poderão justificar a adoção de novos limites, inclusive com a possibilidade de uma delimitação híbrida, incluindo as características socioeconômicas para uma representação mais apropriada.

À luz dos critérios apresentados, a representação cartográfica da zona costeira em mapas deve permitir uma visão ampla das alternativas de delimitação, levando em consideração os critérios e as características que são importantes para região, no sentido de atender às diferentes políticas e diretrizes de uso, gestão e proteção desses espaços geográficos.

2.6 REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **ATLAS ESGOTOS. Despoluição das Bacias Hidrográficas. Situação dos Esgotos**. Brasília:, 2017. Disponível em <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: dezembro de 2018.

BANK, W. **"The Noordwijk Guidelines for Integrated Coastal Zone Management"**. Environment Department, Land, Water and Natural Habitats Division in Beukenkamp et al.". World Coast Conference 1993: proceedings, Coastal Zone Management Centre The Netherlands, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ - 111. : Centre Publication No. 4, ISBN 90-369-0305-X. 1993.

BARRAGÁN, J. M. M. **POLÍTICA, GESTIÓN Y LITORAL. Nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales**. En la edición de este libro ha colaborado la Oficina Regional, de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Editorial Tébar Flores, 2014. 206 p. ISBN 978-84-7360-518-2. Disponível em: (www.tebarflores.com). Acesso em: Junho 2018. Muestra sintetizada del libro, exclusiva para UNESCO.

BARRAGÁN, J. M. M.; ANDRÉS, M. D. Aspectos básicos para una gestión integrada de las áreas litorales de España: conceptos, terminología, contexto y criterios de delimitación. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 16(2), p. 171-183, 2016. ISSN 10.5894/rgci638. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-638_Barragan.pdf.

BARROS, S. R. D. S. **A inserção da Zona Costeira nas Territorialidades da Bacia Hidrográfica do Rio São João – RJ: Inter-Relações, Trocas e Conflitos**. Niteroi - Rio de Janeiro: 2007.

BATISTA, C. M.; SUAREZ, A.; SALTAREN, C. M. B. Novel method to delimitate and demarcate coastal zone boundaries. **Ocean & Coastal Management**, v. 144, p. 105 e119, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.021> 0964-5691/© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

BEZERRA, I. S.; CABRAL DA SILVA, T. Análise de riscos à perda de solo para diferentes cenários de uso e ocupação na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 19 n.4 , p. 195-204, Out/Dez 2014.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 , Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília: 1981.

BRASIL. **Lei Nº 7.661, de 16 de Maio de 1988, Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. 1988.

BRASIL. **BRASIL. Decreto Nº 1.905, de 16 de Maio de 1996. Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971**. 1996.

BRASIL. **PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO (PNGC II) - CIRM, Comissão Interministerial para os Recursos do Mar -**. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 1997a.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.** Brasília, 1997b.

BRASIL. **A Reserva Extrativista Acaú-Goiana, Lei Federal no 9.985/2000, que em seu Art. 18º.** 2000. Site da RESEX Acaú-Goiana: <https://sites.google.com/site/bibliotecavirtualdaresex/http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2280-resex-acau-goiana.html>.

BRASIL. **Decreto N° 5.300 de 7 de dezembro de 2004:** Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro PNGC e dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla. 2004.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. **Subsídios à Discussão do Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas e da Zona Costeira.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos – SQA, Programa de Gestão Ambiental Territorial – PGT, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho - GERCOM. BRASILIA, DF, p. 77. 2006.

CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, p. Vol.13 - Nº 2 -144-152, abr/jun 2008.

CERH. **Resolução Nº 03, de 05 de novembro de 2003 – Áreas de atuação dos Comitês.** 2003.

Clark, J. R. (1997). Coastal zone management for the new century. **Ocean & Coastal Management**, v. 37, No. 2, p. 191-216

CLIMATE-DATA. **Site (<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/joao-pessoa-4983/#climate-graph>)** Visitado em 26 11 2018 as 11:15 h. 2018.

CUBA. **DECRETO-LEY No 212 Gestion de la Zona Costera, 8 de agosto de 2000.** 2000.

DEPUTADOS, C. D. **PROJETO DE LEI N.º 6.969-A, DE 2013.** Altera a Lei nº 9.605, de 1998 e a Lei nº 7.661, de 1988, 2013. <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=604557>.

DIEGUES, A. C. S. **Ecologia Humana e Planejamento em Áreas Costeiras.** 2 ed, 225 p. ed. [S.I.]: São Paulo: Nucleo de Apoio à Pesquisa sobre Produção Humana em Áreas Úmidas, USP, 2001. ISBN 85-87304-03-8.

EUROPEAN, C. **Demonstration Programme on integrated management of coastal zones.** XI/79/96, February 1996. (Including Communication from the Commission on integrated management of coastal zones). 1996.

FREITAS, M. A. P. D. Zona costeira brasileira: delimitação, questões jurídicas, unidades de conservação e natureza de patrimônio nacional. **Revista de Doutrina da 4ª Região**, Porto Alegre, n. Disponível em: http://www.revistadoutrina.trf4.jus.br/artigos/edicao066/Mariana_deFreitas.html>, p. n. 66, jun, 2015.

GIRALDO, R. X. et al. **Guía metodológica para el manejo integrado de las zonas costeras en Colombia**. Manual 2: planificación de la zona costera. Serie de Documentos Generales INVEMAR, v. 44, 74 p., 2010. ISBN 978-958-8448-32-9.

INMET, I. N. D. M. **Normal climatológica de 1981-2010**. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso em Junho de 2019.

KAY, R.; ALDER, J. **Coastal planning and management**. 2nd ed. p. cm. Includes bibliographical references and index. 1. Coastal zone management. I. Alder, Jackie, 1954– II. Title. HT91.K36 2005 333.9 7– dc22 2004014309, 2005. ISBN 0–415–31772–X (hbk) ISBN 0–415–31773–8 (pbk).

LACAZ, F. A. D. C.; PORTO, M. F. D. S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 42:e9, 2016. ISSN 2317-6369. (online) RBSO <http://dx.doi.org/10.1590/2317-6369000016016>.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, p. 233-245, VOL. 11 (2), 2011.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. A Faixa Terrestre da Zona Costeira e os Recursos Hídricos na Região Hidrográfica do Atlântico Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, p. 14(1):81-94, 2014. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-448_Loitzenbauer.pdf | DOI:10.5894/rgci448.

LOUREIRO FILHO, L. D. S. Proteção conferida à zona costeira brasileira na esfera do município. **Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 111 , p. 225 - 262, jan./dez. 2016.

MACHADO, Lia Osório. (1998), "Limites, fronteiras e redes". In: STROHAECKER, T. M.; DAMIANI, A.; SCHAFFER, N. O.; BAUTH, N. e DUTRA, V. S. (orgs.). **Fronteiras e espaço global**. Porto Alegre, AGB.

MATOS DE CARVALHO, M. B. **Mutações na Paisagem do Litoral Paraibano**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. FAU/USP. Março. 1997, 175f., 1998.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28(1), p. 65-78, 2014. ISSN 10.5327/Z0102-9800201400010007.

MEDEIROS, R. M. D. et al. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08 N. 04, 2015. ISSN 1006-1016.

MELLO, K.; ROGÉRIO HARTUNG TOPPA, D. M. D. S. A. M. C. Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: O caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13(4), p. 539-551, 2013.

MONTEIRO, P. M. S.; MARCHAND, M. Catchment2Coast: A systems approach to coupled river-coastal ecosystem science and management. **Deltares Select Series**, Amsterdam, Países Baixos., p. Press, Amsterdam, Países Baixos. ISBN: 978-1607500308, Vol. 2, 92p, 2009.

MORAES, A. C. R.; ZAMBONI, A. **Construindo o conceito de orla marítima. Projeto Orla. Subsídios para um Projeto de Gestão**. Brasília, DF, Brasil: Ministério do Meio Ambiente / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2005. 5- 9 p. http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008110506.pdf.

NEVES, SILVANA MOREIRA. **Erosão Costeira no Estado da Paraíba**. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia Instituto de Geociências Curso de Pós-Graduação em Geologia Área de Geologia Sedimentar - Salvador - Bahia, Setembro, 150p, 2003.

NICOLODI, J. L.; ZAMBON, A.; BARROSO, G. F. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica.. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9(2), p. 9-32, 2009.

OCRM, O. A. C. R. M. –. **COASTAL ZONE MANAGEMENT ACT OF 1972, as amended through Pub. L. No. 109-58, the Energy Policy Act of 2005. U.S.C. § 1462. Coastal Zone Management Reports (Section 316)**. 2005.

PARAÍBA. **Decreto N. 276, de 25 de Janeiro de 1991 Institui Área de Preservação Ambiental**. 1991.

PIRES, A. L. **Análise da Vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas do litoral sul paraibano, João Pessoa**. João Pessoa-PB: Dissertação de Mestrado, UFPB/CT, 172f., 2015.

SORENSEN, J. C. E.; MCCRARY, S. T. **Institutional Arrangements for Managing Coastal Resources and Environments**. Washington, DC, U.S.A.: 194p., No. 1. NPS/US AID Series, National Park Service, Office of International Affairs, 1990. ISBN: 978-0931531002.

WEATHERSPARK. **Site** (<https://pt.weatherspark.com/y/31438/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Jo%C3%A3o-Pessoa-Brasil-durante-o-ano>) site visitado em 26/1/2018, as 10:00h. 2018.
<https://pt.weatherspark.com/y/31436/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pitimbu-Brasil-durante-o-ano>.

Capítulo 3 – MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: O CASO DO MUNICÍPIO DE PITIMBU

Nesse capítulo é apresentada a determinação da dinâmica espaço-temporal do uso e da ocupação de parte da ZC-Sul/PB, no caso, o município representativo de Pitimbu. Corresponde ao artigo 2, de mesmo título.

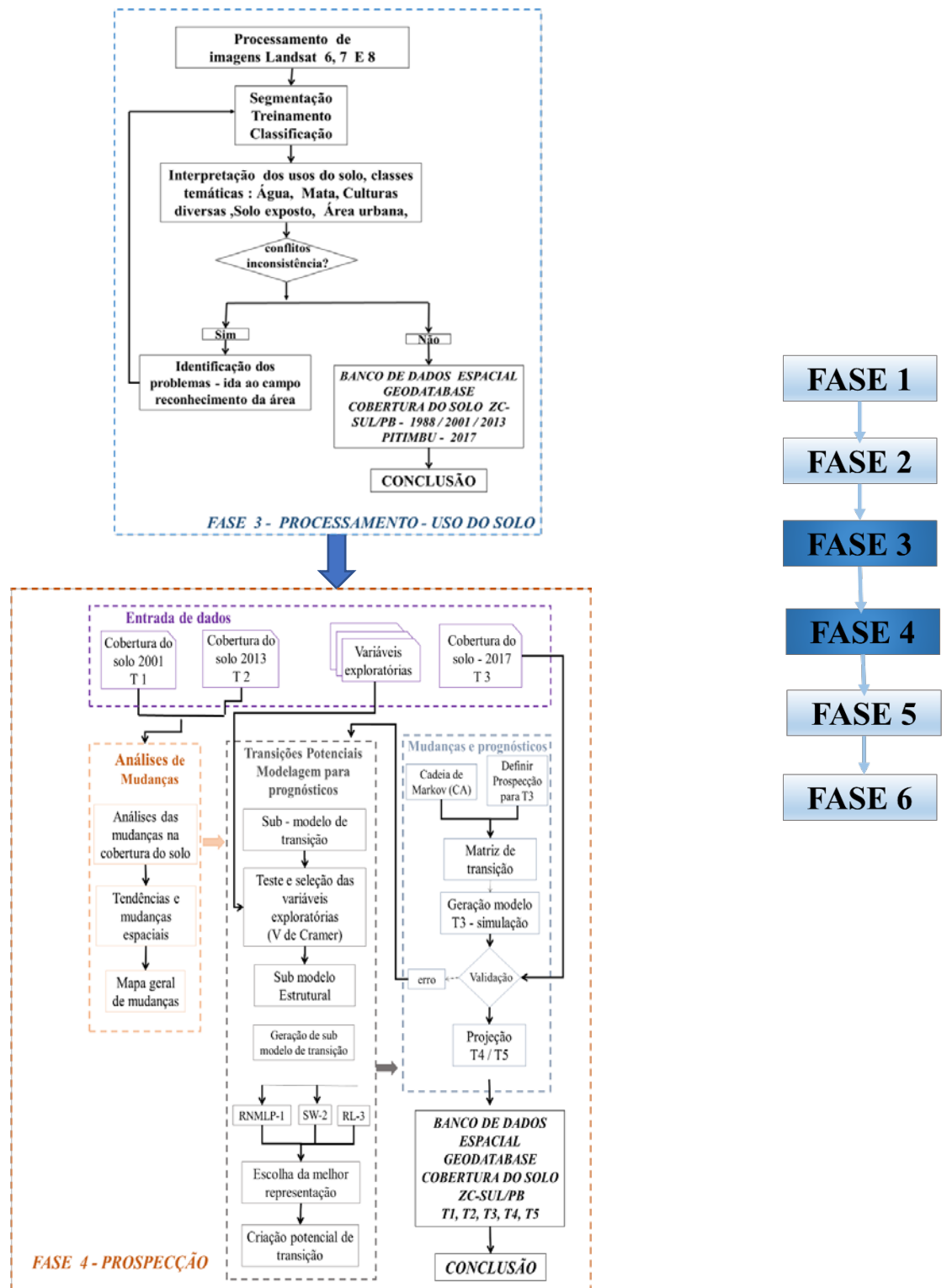
É mostrado o procedimento para o processamento digital das imagens, dos anos de 2001 (T1), 2013 (T2) e 2017 (T3), para as fases de extração de informações sobre o uso do solo e sua ocupação e para a elaboração do modelo de mudanças.

A ausência de banco de dados para validação da área da ZC-Sul/PB, em referência ao uso e ocupação do solo, levou a autora à procura de imagens de satélite. A área estudada se situa no litoral, que concentra grandes formações de nuvens, que geram perdas de qualidade das imagens que deveriam ser utilizadas para o processamento. Assim, o município de Pitimbu foi utilizado por ser uma área representativa na ZC-Sul/PB e quase não ter apresentado nuvens no ano de 2017. A área de Pitimbu possibilitou a aplicação do modelo *Land Changer Modeller* (LCM) em relação à dinâmica do uso do solo. A simulação dos cenários preditivos de uso e ocupação do solo para 2027 e 2037, mostrou os impactos para o futuro com o desmatamento devido a expansão da ocupação pelo cultivo da cana de açúcar, culturas diversas e o crescimento urbano.

Este artigo contribui para a determinação dos parâmetros do LCM no município e para aplicação, após a verificação de comportamento similar das mudanças de UOS, na ZC-Sul/PB, a ser feita no capítulo 4 nos anos T4 e T5.

O fluxograma, representado na Figura 3.1, apresenta o processamento digital de imagens, para as fases de extração de informações sobre o uso do solo e sua ocupação e para a elaboração do modelo de mudanças. O fluxograma foi baseado no processo de Análise de Mudanças, Modelos de treinamento e Validação do LCM, adaptado de Eastman, J. R. (2012). Compreende as fases 3 e 4 da pesquisa relatada nessa tese. Esse artigo será submetido à revista que contemple a temática relativa ao uso e ocupação do solo.

Figura 3. 1 – Fluxograma e fases para o processamento do UOS.
Fontes: Próprio autor e adaptado de Eastman, J. R. (2012).



1-Rede Neural Perceptron Multicamada (RNMLP), 2-Similaridade Ponderada por Instância (SW), 3-Regressão Logística (RL).

- MODELAGEM DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: O CASO DO MUNICÍPIO DE PITIMBU

- *MODELING THE DYNAMICS OF LAND USE AND OCCUPATION IN THE SOUTHERN COASTAL ZONE OF PARAÍBA STATE, BRAZIL: THE CASE OF PITIMBU MUNICIPALITY*

Resumo - Este trabalho teve como objetivo apresentar uma análise das tendências da dinâmica dos diversos usos do solo no município de Pitimbu, localizado na zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), entre os anos de 2001 e 2013, a validação do modelo para 2017, e a predição das mudanças para 2027 e 2037. A pesquisa foi realizada utilizando uma combinação de métodos abrangendo Sensoriamento Remoto (SR) e processamento digital de imagens *Landsat 7 ETM+* e *Landsat 8 OLI/TIRS* para obtenção das classes de uso e ocupação do solo, e Sistema de Informações Geográficas (SIG) visando a obtenção dos planos de informação temáticos pertinentes. Os autônomos celulares e cadeia de Markov, foram técnicas utilizadas para predição do uso do solo, o que possibilitou prever tendências das mudanças das classes de uso. Para a validação, foi aplicado o teste de concordância Kappa (K), além dos índices de determinação das concordâncias e discordâncias de quantidade e localização entre as duas imagens, de referência e projetada. O valor do coeficiente Kappa, foi maior do que 0,9090, indicando uma representação considerada como quase perfeita do mapa gerado para 2017. Assim, foi possível a elaboração de cenários futuros e detectar as mudanças no uso e cobertura do solo. Comparando-se o período de 2001 a 2017, foi identificado um aumento da cultura de cana de açúcar em, aproximadamente, 7%, além do aumento da Área urbana em 2,84%. A classe Área florestada foi substituída ao longo do tempo por atividades agrícolas e pelo uso urbano em 5,85% nesse período. A simulação dos cenários para 2027 e 2037, mostrou o desmatamento com um decréscimo de Área florestada, de 20,07% em 2017, para 17,22 % e 14,81%, respectivamente, devido a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, de culturas diversas e do crescimento urbano.

Palavras chave: Modelagem dinâmica, Uso e cobertura da terra, Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto, autômatos celulares

Abstract – This paper aims to present an analysis of the trends of the dynamics of various land uses in the municipality of Pitimbu, located in the southern coastal zone of Paraíba state, between 2001 and 2013, the validation of the model for 2017, and the prediction of changes to 2027 and 2037. The research was carried out using a combination of methods as Remote Sensing (SR) in the digital processing of *Landsat 7 ETM+* e *Landsat 8 OLI/TIRS*, to obtain the land use and occupation classes and Geographic Information System (GIS), aiming at obtaining the relevant thematic information plans. The autonomous cellular and Markov chain, are used for prediction of the use, through specific software, that allowed to predict trends of the changes of the use classes. For validation, the Kappa agreement test (K) was applied, in addition to the indices of determination of the agreement and disagreement of quantity and location between the two reference and projected images. The value of the Kappa coefficient (K), was greater than 0.9090, indicating a representation considered as almost perfect of the map generated for 2017. All values of the calibration indices were greater than 0.9090, indicating a nearly perfect representation of the model generated for 2017. After calibration it was possible to elaborate maps for future scenarios, thus detecting changes in land use and cover. Comparing the period from 2001 to 2017, an increase in sugarcane of approximately 7% was identified, in addition to an increase in urban area of 2.84%. Part of the class Forested area was replaced over time by both agricultural activities, such as urban use during this period. The scenario simulation for 2027 and 2037 shows the impacts for the future of deforestation with a decrease, of 20.07% in 2017, to 17.22% and 14.81% of forested area respectively due to the expansion of occupation by sugarcane cultivation, diverse and urban growth.

Keywords: Dynamic modeling, Land use and land cover, Geographic Information Systems, Remote Sensing, cellular automata

3.1 – INTRODUÇÃO

Devido a fatores históricos relacionados à ocupação do território brasileiro, e seguindo a tendência mundial das populações em ocupar predominantemente áreas próximas ao litoral, o Brasil apresenta 26,6% da população em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes. Parte dessa população brasileira está ocupada com atividades, direta ou indiretamente, ligadas a agricultura, turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços que atendem à dinâmica econômica gerada nos municípios costeiros e outros próximos (IBGE, 2011). Ademais, no Nordeste a presença da cultura da cana de açúcar para o processamento nos engenhos e usinas é predominante na zona costeira, tendo sido iniciada ainda nos tempos do Brasil Colônia.

Por outro lado, os ambientes da zona costeira se caracterizam por sua complexidade e por sofrerem influências diversas de natureza antrópica, climática, fluvial, biológica, oceanográfica, cósmica, entre outras (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008). Nesses ambientes, são as ações antrópicas que têm gerado a maioria dos desequilíbrios ao longo dos anos de ocupação.

A ocupação do espaço geográfico costeiro tem se constituído em um desafio a ser enfrentado pelos planejadores do segmento ambiental, na busca do ordenamento das atividades humanas, procurando minimizar os impactos nos diversos ecossistemas. Moraes (1999) argumenta que a conjunção entre a celeridade e o volume dos processos urbanizadores, bem como a fragilidade das áreas envolvidas, definem a premência da ação planejadora na zona costeira, seja o planejamento preventivo nas áreas ainda sem ocupação, ou corretivo que especifique soluções para os problemas já existentes.

No estado da Paraíba, a ocupação dos espaços costeiros tem se intensificado, principalmente após a estabilização econômica do Brasil ocorrida nos anos 1990. Desde então, diversos projetos viários, de loteamentos e de indústrias têm sido implantados.

Devem ser destacadas a efetivação da duplicação da rodovia BR-101, entre João Pessoa, capital do estado da Paraíba, e Recife capital do estado de Pernambuco, ao Sul, e a rodovia estadual Ministro Abelardo Jurema (PB-008), entre João Pessoa e o município de Pitimbu, vizinho ao município de Goiana no

estado de Pernambuco. Ambas facilitam a acessibilidade entre os aglomerados urbanos das cidades de João Pessoa e Recife e têm propiciado a implantação de diversos empreendimentos entre essas cidades.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Pitimbu (BRASIL, 2015), no processo de colonização e ocupação das terras do município, quase toda vegetação natural foi sendo indiscriminadamente retirada e substituída pelas culturas de Cana de açúcar, abacaxi, mandioca, entre outras de caráter intensivo e extensivo. Atualmente, restam somente fragmentos de Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados.

Constatando a complexidade das relações entre sociedade e natureza, diversos pesquisadores têm tentado entender as mudanças nos fenômenos espaciais e temporais com uso de caracterizações visuais. Segundo Sebusiani e Bettine (2011), é de fundamental importância identificar e mapear as diferentes classes de uso da terra, bem como as atividades desenvolvidas, a fim de gerar subsídios para a análise da dinâmica, visando identificar e quantificar os impactos e melhorar a compreensão das interações existentes e apontar as ações necessárias.

Dzieszko (2014) expressa que as experiências reais em sistemas de cobertura da terra são difíceis de realizar, se não impossíveis, mas os modelos computacionais podem ser considerados como “laboratórios” nos quais padrões de cobertura da terra podem ser observados e testados visando a representação em mapas sintéticos.

Deve ser destacado que as tecnologias de geração de imagens da superfície da Terra, a partir de observações baseadas em satélites, evoluíram enormemente nos últimos 50 anos e as tendências são de evoluírem ainda mais à medida que aumenta a conscientização da comunidade de usuários. Com isso, as geoinformações geradas estão sendo cada vez mais usadas para o estudo e análise efetiva de interações de curto a longo prazo (OUMA, 2016).

Os modelos para prever a dinâmica da paisagem ganharam impulso nas últimas décadas devido à ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e ao desenvolvimento e popularização de plataformas de geoprocessamento (SOARES-FILHO, LIMA, et al., 2013).

Assim, na modelagem dinâmica procura-se simular em ambiente computacional, fenômenos que ocorrem no mundo real. Huang *et al.*, (2015)

mencionam que é relativamente simples usar e fornecer resultados satisfatórios utilizando o modelo de autômatos celulares (CA) baseados em cadeia de Markov por possibilitarem a simulação e a previsão da mudança do uso e cobertura do solo.

Várias aplicações têm sido feitas com uso de redes neurais artificiais e, como resultado do acelerado desenvolvimento tecnológico, as redes neurais passaram a ter aplicações em diferentes campos como, por exemplo, em processos de modelagem, análise de séries temporais, reconhecimento de padrões, processamento de sinais e controle de processos (FLECK, TAVARES, *et al.*, 2016).

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são ferramentas poderosas que usam uma abordagem de aprendizado de máquina para quantificar e modelar comportamentos e padrões complexos. O entusiasmo pela pesquisa neste campo cresceu durante os anos 1950 e 1960 a partir do trabalho de Rosenblatt (1958) que propôs um método inovador de aprendizagem para as redes neurais artificiais denominadas “perceptron”.

Em geral, diferentes estudos demonstraram a importância de compreender e modelar a mudança de uso do solo. Assim, são relatados estudos sobre Modelagem de cobertura utilizando redes neurais do tipo *perceptron multi-layer* (DZIESZKO, 2014), modelagem de perda de florestas e dinâmicas de mudança do uso da terra (KORANTENG e ZAWILA-NIEDZWIECKI, 2015), e simulação de cenário prospectivo através da modelagem dinâmica (PISANI, DEMARCHI e RIEDEL, 2016; GAGO-SILVA, RAY e LEHMANN, 2017; QIU, XU, *et al.*, 2017).

Tomando como referencias os estudos acima citados, o conhecimento do uso e ocupação do solo, com destaque para o dinamismo espaço temporal da região costeira Sul da Paraíba, revela-se essencial para subsidiar os planos de gestão da zona costeira. Com isso, busca-se fornecer suporte para a tomada de decisão relativa a ações, preventivas ou corretivas do uso do solo, com a geração de simulações de mapas dinâmicos em diferentes cenários.

À luz das metodologias acima referidas para a modelagem de mudança do uso do solo, neste trabalho são apresentadas a análise das tendências dos diversos usos do solo no município de Pitimbu, localizado na zona costeira Sul do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, e a validação do modelo prospectivo para o ano de 2017 e a predição das mudanças para 2027 e 2037.

3.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 – Caracterização da área de estudo

Os estudos apresentados foram realizados no município de Pitimbu localizado no extremo Sul do litoral do estado da Paraíba, com uma área de 136,43 km², na mesorregião denominada Mata Paraibana, hoje denominada segundo a divisão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) vigente em 2017, regiões geográficas Imediatas e Intermediárias de João Pessoa, no Nordeste do Brasil. Está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Gramame, Abiaí e Goiana, no Bioma Mata Atlântica, limitando-se ao norte com o município do Conde, ao Oeste com os municípios de Alhandra e Caaporã, ao Sul com o rio Goiana e a Leste com o Oceano Atlântico (Figura 3.2). O município de Pitimbu possui praias abertas e mais ao norte há predominância de falésias vivas e mortas, entrecortadas pelos maceiós dos rios Graú, Mucatu e Abiaí, formando um conjunto de grande beleza cênica, de uma forma geral ainda bastante preservada (PITIMBU, 2016).

Figura 3. 2 – Localização da área de estudo



3.2.2 – Obtenção das imagens de satélite e dados vetoriais

As imagens de satélite *Landsat 7* ETM+ datada do dia 04 de agosto de 2001, com 6 bandas espectrais, e *Landsat 8* OLI/TIRS datadas do dia 20 de agosto de 2013 e do dia 31 de agosto de 2017, com 8 bandas espectrais cada uma nas órbitas 214, ponto 65, bem como imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foram obtidas no site de acesso livre do *United States Geological Survey* (USGS).

Devido à região estudada se situar no litoral é comum que ocorra uma grande formação de nuvens na imagem, portanto o critério de uma mínima cobertura de nuvens foi estabelecido arbitrariamente, para análise temporal do uso e ocupação do solo. Os dados de referência vetoriais, rodovias e divisão municipal, foram obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA).

3.2.3 – Processamento digital de imagens

Os estudos do processamento digital das imagens multitemporais *Landsat* para obtenção das classes de uso do solo foram realizados em três etapas descritas a seguir: A primeira etapa consiste no pré-processamento e classificação de imagens, utilizando o *software* SPRING 5.2.7, Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, *software* livre. O pré-processamento envolveu a busca para a geração de uma imagem única utilizando uma composição de bandas 5R4G3B, para o ano de 2001 e 6R5G4B para os anos de 2013 e 2017, possibilitando, a obtenção de uma melhor visualização para as análises na área trabalhada. O algoritmo do “vizinho mais próximo” foi utilizado para extração dos dados das classes de uso e ocupação do solo.

Na segunda etapa, visou-se diminuir dúvidas sobre as imagens e contou com a experiência dos autores e do seu conhecimento na área de estudo, com auxílio de visitas técnicas para reconhecimento., como também o *software Google Earth Pro 7.1.5*, como ferramenta auxiliar, por apresentar um mosaico de imagens com delimitação de datas de aquisição.

A terceira etapa foi utilizada a imagem SRTM, com resolução espacial de 30 m, para gerar os dados topográficos a partir do Modelo de Elevação Digital

(DEM), utilizando o *software* ARCGIS 9.3. Os procedimentos foram: transformação dos sistemas de referência e coordenadas, seguida do preenchimento e correção de dados dos *pixels* da imagem. Com isso, foi possível obter as variáveis de declividade e de altitude para serem usadas como variáveis exploratórias (*drivers*) no processamento da modelagem.

O conjunto de dados obtidos nessas etapas foi armazenado no formato *ESRI Geodatabase* e em seguida importados para o *software* *TerrSet* e posteriormente usados para a modelagem da dinâmica do uso do solo.

3.2.4 – Procedimentos da modelagem dinâmica espacial

A avaliação da modelagem da dinâmica do uso do solo foi feita utilizando o módulo *Land Change Modeler* (LCM), contido no *software* *TerrSet*. A modelagem possibilitou a análise das tendências da dinâmica com base nos dados históricos, sendo considerados os principais vetores das mudanças, possibilitando prever possíveis configurações espaciais e implicações ambientais. As transições dominantes podem ser agrupadas e modeladas, denominadas submodelos. Elas são processadas utilizando as redes neurais com base em similaridade ponderada por instância (SimWeight), ou regressão logística (RL), ou ainda por uma Rede Neural Perceptron Multicamada (RNMLP) (EASTMAN, 2016).

As identificações e previsões das mudanças foram realizadas da seguinte forma: i) Análise de Mudança; ii) Modelagem de Potencial de Transição, e iii) Previsão de Mudança. Elas são baseadas nas mudanças históricas ao longo do tempo 1 até o tempo 2 dos mapas de cobertura de uso do solo para projetar cenários futuros.

A seleção das variáveis exploratórias foi baseada no teste V de *Cramer*. Nesse teste as variáveis foram avaliadas o quanto influenciam nas mudanças. Segundo Eastman (2016), a forte relação se inicia quando os valores do V de *Cramer* são maiores que 0,15, considerando os valores acima de 0,4 como os mais representativos, sendo assim, possível descartar os valores menores na avaliação geral.

3.2.5 – Perceptron multicamada (MLP)

O LCM foi executado utilizando a técnica MLP, que inicialmente utiliza todas as variáveis no modo automático. Em um segundo momento permite definir até nove transições de previsão que são especificadas. Nesse procedimento, foi utilizada a configuração padrão recomendada, onde deve ser atingido um número máximo de iterações igual a 10.000 e taxa de precisão aceitável, acima de 80%, em razão de que foi observada a diminuição da curva de erro (MISHRA; RAI e MOHAN, 2014; EASTMAN, 2016).

O MLP foi processado com uso da Cadeia de Markov, com utilização dos mapas de cobertura nos momentos t1 e t2, juntamente com a data posterior especificada, t3, na qual se deseja projetar um novo cenário de uso, sendo especificadas como saídas as quantidades de mudanças para a nova data. A matriz de transição de área gerada pelo algoritmo de cadeia de Markov foi a regra utilizada para guiar as mudanças dos estados no modelo dos autônomos celulares.

3.2.6 – Validação e predição

A validação nesse contexto foi entendida como um método para medir a concordância entre duas imagens, sendo um mapa observado, no tempo t1, ou de "referência", outra no tempo t2, e um mapa gerado ou "projetado", no tempo t3 a ser validada com outra imagem observada em t3. O processo de validação responde simultaneamente a duas questões importantes: como os mapas concordam em termos de quantidade de áreas e de localização das categorias de classes em estudo no tempo t3.

O teste de concordância *Kappa* (K), tem como finalidade medir o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes. Ele representa a concordância observada entre o mapa gerado e o de referência, variando de 0 a 1, onde 1 significa perfeita concordância. No entanto, para Pontius e Millones (2011) os usos considerando apenas os índices K, são entendidos como inúteis, enganosos e/ou falhos para fins de avaliação de acurácia e comparação de mapas. Em vez disso, eles sugerem resumir a matriz de tabulação

cruzada com dois parâmetros resumidos muito mais simples: discordância de quantidade e alocação em desacordo, que estão implementados no LCM.

A matriz de tabulação cruzada permite avaliar as alterações entre dois mapas, nas quais são especificadas, através da tabela resumo, as linhas que exibem as categorias no tempo t1 e as colunas que exibem as categorias das classes no tempo t2.

Seguindo os critérios para a construção da matriz de confusão a avaliação da acurácia pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância derivados dela, sendo que estes podem ser expressos como concordância total ou para classes individuais (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007).

O índice V de *Cramer* é adotado para calcular a correlação em tabelas, entre linhas e colunas, e também é usado para determinar a potência de associação entre as variáveis com valores entre 0 e 1, sendo 0 associado a uma pouca associação entre as variáveis e os valores próximos de 1 indicam uma forte associação ou acoplamento.

O índice Kappa (K) é um índice de avaliação da acurácia de informações oriundas de dados de sensoriamento remoto, através de mapas temáticos, obtidos por meio de classificação digital. O teste de concordância Kappa, também conhecido por coeficiente de Kappa, foi proposto por Jacob Cohen em 1960, com a finalidade de medir o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes; considera todos os elementos da matriz de erros ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, ou seja, estima a soma da coluna e linha marginais. No Quadro 3.1 constam os valores de K e sua interpretação.

Quadro 3. 1 – Valores de Kappa

Valores de K	Interpretação
<0	Ausência de concordância
0,00 – 0,19	Concordância pobre
0,20 – 0,39	Concordância leve
0,40 – 0,59	Concordância moderada
0,60 – 0,79	Concordância substantiva
0,80 – 1,00	Concordância quase perfeita

No módulo *VALIDATE*, do TerrSet, as estatísticas são detalhadas com os índices de concordância *Kappa*, os desacordos de quantidades e os desacordos de alocação que são apresentados mostrando a precisão para a validação final dos mapas. Sendo assim, são disponibilizados os índices *Kno* para avaliar o sucesso geral da simulação, ou nenhuma informação; *Kstandard* para a validação da simulação em relação a uma classificação perfeita; *Klocation* para avaliar a capacidade da simulação de especificar a localização; *KlocationStrata*, indica quão bem as células da grade estão localizadas dentro dos estratos.

Ademais, essas estatísticas indicam conjuntamente o quanto o mapa de saída gerado está em acordo com o mapa de referência, separando as concordâncias e discordâncias entre as duas imagens nos seguintes componentes: concordância devido ao acaso; concordância devido à quantidade; concordância devido à localização no nível estratificado; concordância devido à localização no nível da célula da rede; discordância devido à localização no nível da célula da grade; discordância devido à localização no nível estratificado; desacordo devido à quantidade.

A predição do uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037) foi realizada baseada nas tendências identificadas na área de estudo em t1 (2001), t2 (2013) e t3 (2017), ou seja, nas mudanças das classes de áreas florestadas por áreas de culturas diversas, cana de açúcar e área urbana. Foram utilizadas as taxas históricas das mudanças e o modelo de potencial de transição, para a previsão dos cenários futuros para t4 e t5.

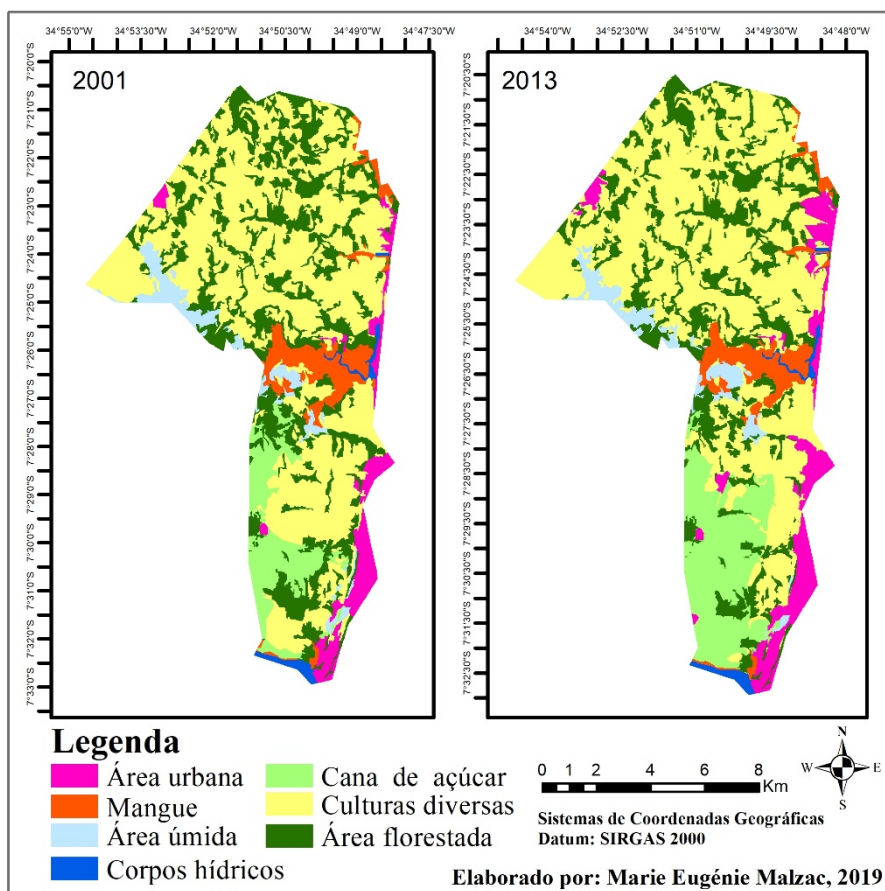
3.3 – RESULTADOS

As identificações por interpretação, caracterizando a cobertura vegetal e os usos do solo subsidiaram o estudo da evolução espaço-temporal do município a partir das imagens de satélite já referidas dos anos de 2001, 2013 e 2017.

No processo da classificação supervisionada, onde foi feita a interpretação e edição das classes, foram encontradas sete classes de uso: áreas florestadas, cana de açúcar, áreas urbanas, corpos hídricos, culturas diversas, mangues e áreas úmidas. Após esse processamento, os dados foram armazenados no formato *ESRI Geodatabase*, e, em seguida, importados para o *software TerrSet* visando a elaboração da modelagem da dinâmica dos usos do solo com o LCM.

Na Figura 3.3 são apresentados os mapas observados com os usos do solo no município de Pitimbu, onde pode ser visto com clareza a evolução espacial e temporal no município nos anos de 2001 e 2013, principalmente na porção Sul.

Figura 3. 3 – Mapa de usos do solo município de Pitimbu nos anos de 2001 e 2013



A área de estudo, abrange uma área de 136,44 km², com as quantidades das classes de uso especificadas na Tabela 3.1, nos anos de 2001 e 2013.

Tabela 3. 1 – Áreas e percentuais das classes de uso do solo

Classes de uso do solo	2001	2013	2001	2013
	Áreas (km ²)		Percentual (%)	
Corpos hídricos	1,30	1,25	0,95	0,92
Cana de açúcar	9,54	16,29	6,99	11,94
Culturas diversas	70,98	67,98	52,02	49,82
Mangue	7,35	6,66	5,39	4,88
Áreas úmidas	5,13	4,94	3,76	3,62
Áreas florestadas	35,37	29,37	25,92	21,53
Áreas urbanas	6,76	9,95	4,96	7,29
Total	136,44	136,44	100,00	100,00

Com base nas mudanças observadas no uso e ocupação do solo em t1 (2001), e em t2 (2013) foram definidas as transições de interesse que compõem o submodelo no LCM. A escolha dessas transições se deu em razão da diminuição das áreas ocupadas pela classe área florestada para ampliação de espaços destinados à culturas diversas e cana de açúcar, assim como as mudanças sazonais entre culturas diversas e cana de açúcar e as alterações de cobertura das culturas diversas para área urbana, detectados ao longo do período estudado. Nesse sentido, foram escolhidas as seguintes transições: área florestada para culturas diversas; área florestada para cana de açúcar; culturas diversas para cana de açúcar; culturas diversas para área urbana; cana de açúcar para culturas diversas.

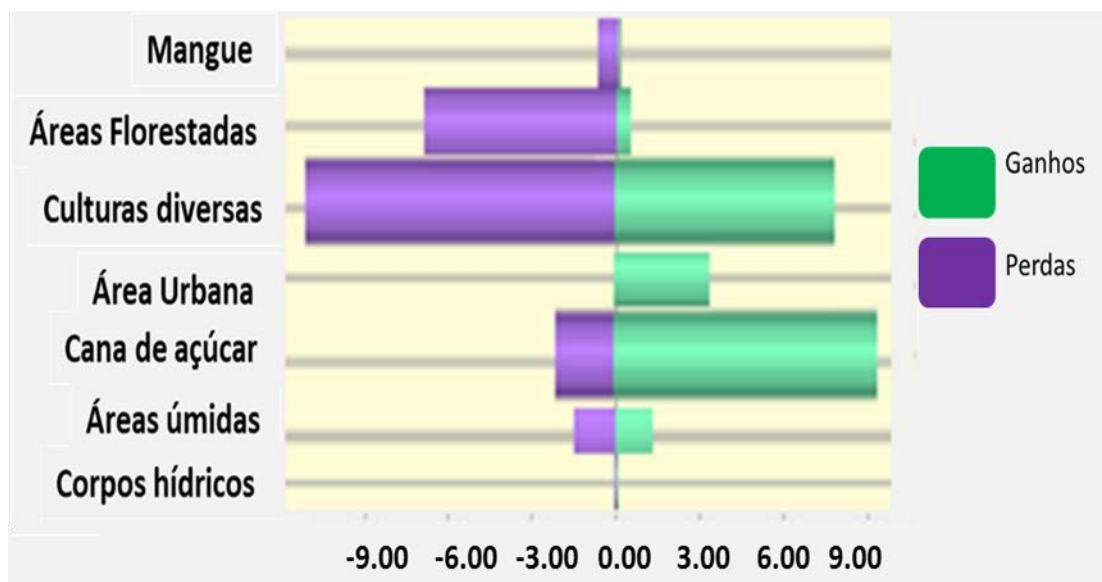
Deve ser observado que a classe Área florestadas foi a que mais diminuiu em área, com valor percentual de 25,92% em 2001, passando para 21,53% em 2013. Por outro lado, a classe que mais cresceu foi o uso área urbana, passando de 4,96% para 7,29%, seguida da cana de açúcar, que passou de 6,99% para 11,94%. Portanto este foi o primeiro sinal de que essas classes são os principais impulsionadores das mudanças no município neste período.

É importante destacar que as áreas agricultáveis em estudo somavam 59,01% em 2001 e em 2013 seu valor passou para 61,76%. As três classes de uso, corpos hídricos, mangue e áreas úmidas, representavam apenas 10,01% em 2001 passando para 9,42% em 2013, evidenciando ter havido pequenas mudanças nessas áreas.

Na modelagem do uso do solo, para a definição das mudanças mais importantes, contemplando a matriz de usos, foram comparados os mapas nos tempos t1 (2001) e t2 (2013); e para as mudanças identificadas nas transições mais importantes foram geradas as transições potenciais ou de maior significação. Para a obtenção dos resultados das mudanças do uso do solo, com base na modelagem realizada, houve um processo de verificação dos valores gerados e observados, que é detalhado em item posterior sobre a validação dos resultados do modelo.

Na Figura 3.4 é apresentado um gráfico com um balanço das perdas e ganhos entre as classes de uso do solo, por categoria de uso do solo no município de Pitimbu entre anos de 2001 e 2013, como um dos produtos da modelagem realizada com o LCM.

Figura 3. 4 – Gráfico de perdas e ganhos de áreas (km²) por classe de uso entre 2001 e 2013



Na Tabela 3.2 são mostradas as mudanças por categoria das classes de uso em 2001 e 2013, com suas perdas e ganhos.

Tabela 3. 2 – Perdas e ganhos de áreas por classe de uso em 2001 e em 2013

Classes	Mudança	Perda	Ganho
	(km ²)		
Cana de açúcar	6,75	-1,99	8,74
Culturas diversas	-3,00	-10,31	7,31
Mangue	-0,69	-0,73	0,03
Áreas úmidas	-0,20	-1,47	1,28
Áreas florestadas	-6,00	-6,46	0,46
Área urbana	3,19	0,00	3,19
Corpos hídricos	-0,05	-0,07	0,02

De acordo com a Figura 3.5, podem ser percebidas as mudanças que ocorrem nas classes de uso ao longo do período estudado, onde as perdas significativas ocorreram nas áreas florestadas, e ganhos nas classes de culturas diversas, cana de açúcar, e uso área urbana.

Figura 3. 5 - Contribuição das mudanças nas classes – Áreas florestadas, Culturas diversas, Cana de açúcar e Urbano e respectivas trocas entre os usos especificados (km²).



Os resultados obtidos da modelagem realizada indicaram que a área florestada contribuiu com 0,59 km² para áreas urbanas, 3,69 km² das culturas

diversas e 1,49 km² para cana de açúcar, além do ganho de 0,36 km² das áreas úmidas.

As culturas diversas contribuíram para as áreas urbanas em 2,31 km² e em 5,31 km² para cana de açúcar. No entanto, ganhou de 3,69 km² das Áreas florestadas e 0,65 km² das áreas úmidas. As culturas diversas, somando perdas e ganhos, teve diferença nas mudanças um valor negativo de 3,00 km², uma vez que ganhou 7,31km² e perdeu 10,31 km².

A classe cana de açúcar ganhou 1,49 km² das áreas florestadas, 5,31km² das Culturas diversas e 0,11 km² das áreas úmidas, totalizando 6,75 km² de áreas adquiridas ao longo do período. Vale salientar que a maior parte da área da Cana de açúcar veio das classes culturas diversas e das áreas florestadas.

A área urbana recebeu contribuição de 0,59 km² das áreas florestadas, e 2,31 km² das culturas diversas, além de 0,18 km² de cana de açúcar.

As transições particularmente importantes são uso urbano e cana de açúcar, porque, como pode ser observado elas tendem à persistência ao longo do tempo enquanto que as áreas florestadas e culturas diversas tendem a se desviar pelas trocas.

Pode ser observado que as classes cana de açúcar e uso urbano foram as que mais ganharam das demais ao do período no município de Pitimbu, recebendo contribuições das classes culturas diversas e áreas florestadas. A classe áreas florestadas foi a que teve a maior perda de área, totalizando 6,00 km².

Previsão de mudanças

A principal tarefa nesta etapa foi determinar quais são os principais fatores determinantes das mudanças na cobertura entre os anos de 2001 e 2013. Nestas análises o *software TerrSet* permitiu agrupar *drivers* e submodelos para tornar a previsão mais eficiente na hora de ser executada.

A modelagem do potencial de transição foi realizada com as transições mais representativas ao longo dos anos: áreas florestadas para cana de açúcar, áreas florestadas para culturas diversas; culturas diversas para área urbana; culturas diversas para cana de açúcar, culturas diversas para área áreas florestadas, uma vez que as transições das classes mangue, áreas úmidas e

corpos hídricos não resultaram em valores que pudessem influir na modelagem, procedimento similar ao adotado por (DZIESZKO, 2014).

O Quadro 3.2 apresenta as variáveis explanatórias que foram selecionadas após o teste V de Cramer com seus respectivos valores. As variáveis escolhidas foram as de valores acima de 0,15, com exceção da Distância de rodovias.

Quadro 3. 2 - Variáveis exploratórias e o resultado do teste de V de Cramer

Variável explanatória	Transformação	Resultado do teste V de Cramer
Distância de rodovias	natural log	0,1004
Distância de cursos d'água	natural log	0,1697
Distância de áreas urbanas	natural log	0,4194
Distância de áreas florestadas	natural log	0,4160
Distância de áreas cana de açúcar	natural log	0,4729
Distância de áreas culturas diversas	natural log	0,4744
Declividade	nenhuma	0,3327
Altitude	nenhuma	0,2629

As variáveis de distâncias de áreas urbanas, áreas florestadas, culturas diversas, cana de açúcar, apresentaram os maiores valores no teste V de Cramer variando entre 0,4194 a 0,4744. Os valores de declividade, altitude e distância de cursos d'água, com valores variando entre 0,1697 e 0,3327, também foram incorporadas ao modelo. Em seguida, após a previsão do potencial de transição com base no MLP, os submodelos de transição foram implementados e foi dado continuidade ao processo de simulação.

Vários testes foram realizados e a partir das iterações entre as variáveis explanatórias selecionadas obteve-se como melhor resultado, a acurácia de 97,46%, com 10.000 iterações, tornando possível fazer as previsões da quantidade de mudanças em 2017.

Modelagem da demanda de mudanças

A partir da modelagem do potencial de transição, tornou-se possível prever a quantidade de mudanças para o ano de 2017 possibilitando a comparação com o mapa de referência para a validação do modelo.

Para a predição, foi utilizado o método da Cadeia de Markov através do qual se determina a quantidade de alteração que ocorrerá na data projetada, de acordo com os potenciais de transição calculados. Este procedimento determinou exatamente quanto de mudança deve ter havido entre t1 (2001) e t2 (2013), para a previsão de t3(2017). Assim foi criada uma matriz de probabilidade das transições que são definidas no modelo. Este modelo foi executado várias vezes até que fosse encontrada uma maior similaridade entre as quantidades concordantes de áreas de classes com os dados do mapa de referência.

Validação

Na validação dos resultados do modelo foi utilizada a matriz de proporcionalidades de transição final calculada que é apresentada na Tabela 3.3. O resultado do valor V de Cramer foi igual a 0,8562 e o do Kappa geral igual a 0,9090, confirmando que ambos os valores são representativos e que possuem uma associação muito forte entre os mapas.

Tabela 3. 3 – Proporcionalidades de transições obtidas para as classes de uso: 1 - Corpos hídricos, 2 - Cana de açúcar, 3 - Culturas diversas, 4 - Mangue, 5 -Áreas úmidas, 6 – Área Urbana, 7 - Áreas florestadas

Classes	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	0,0042	0	0	0,0001	0	0	0,0002	0,005
2	0	0,0524	0,011	0,0003	0,0004	0,001	0,0001	0,066
3	0	0,0126	0,216	0,0012	0,0027	0,005	0,0044	0,242
4	0,0003	0	0,002	0,0208	0,0002	0	0,0004	0,024
5	0	0,0002	0,006	0,0001	0,0094	0	0	0,016
6	0	0,0011	0,005	0	0	0,09	0	0,097
7	0,0003	0,0016	0,003	0,0002	0	0	0,0331	0,038
Total	0,0049	0,0679	0,244	0,0227	0,0127	0,096	0,0381	1,00

Tabela 3. 4 – Índice Kappa de concordância (KIA) para todas as classes, utilizando 2017 projetado como referência

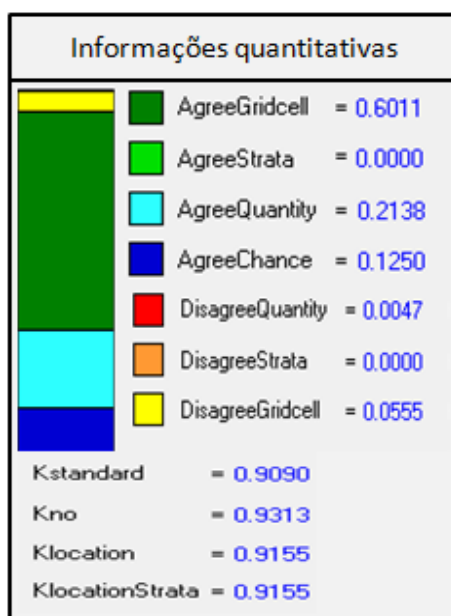
Classes	Índice K
1	0,8673
2	0,7556
3	0,8497
4	0,9142
5	0,7332
6	0,9316
7	0,8628
K geral	0,9090

A Tabela 3.4 mostra o índice de concordância geral entre as classes dos dois mapas, gerado e o de referência, para o ano de 2017. Para esse estudo o índice mostra uma concordância quase perfeita na maioria das classes ($K > 0,8$) em quase todas as classes e para o K geral, evidenciando uma associação muito forte entre o mapa de saída (projetado) com o mapa de referência.

A Figura 3.6 apresenta os índices calculados pelos Kappa e por meio das estatísticas e o relatório com informações quantitativas.

Figura 3. 6 – Informações quantitativas de concordância e discordância entre as duas imagens.

Fonte: Relatório de informações quantitativas do *software TerraSet/LCM*



Ficou demonstrado, mais uma vez, e por meio das estatísticas de quantidades, que o mapa de saída para 2017 está de acordo com o mapa de referência. Os índices Kappa resultaram em valores maiores do que 0,9090 que indica representação considerada como quase perfeita.

Para a especificação de concordância e discordância na área de estudo obteve-se: concordância de 21,38% devido à quantidade, 60,11% no nível da célula da grade, desacordo de 0,055% no nível da célula da grade e desacordo menor que 0,5% de quantidade.

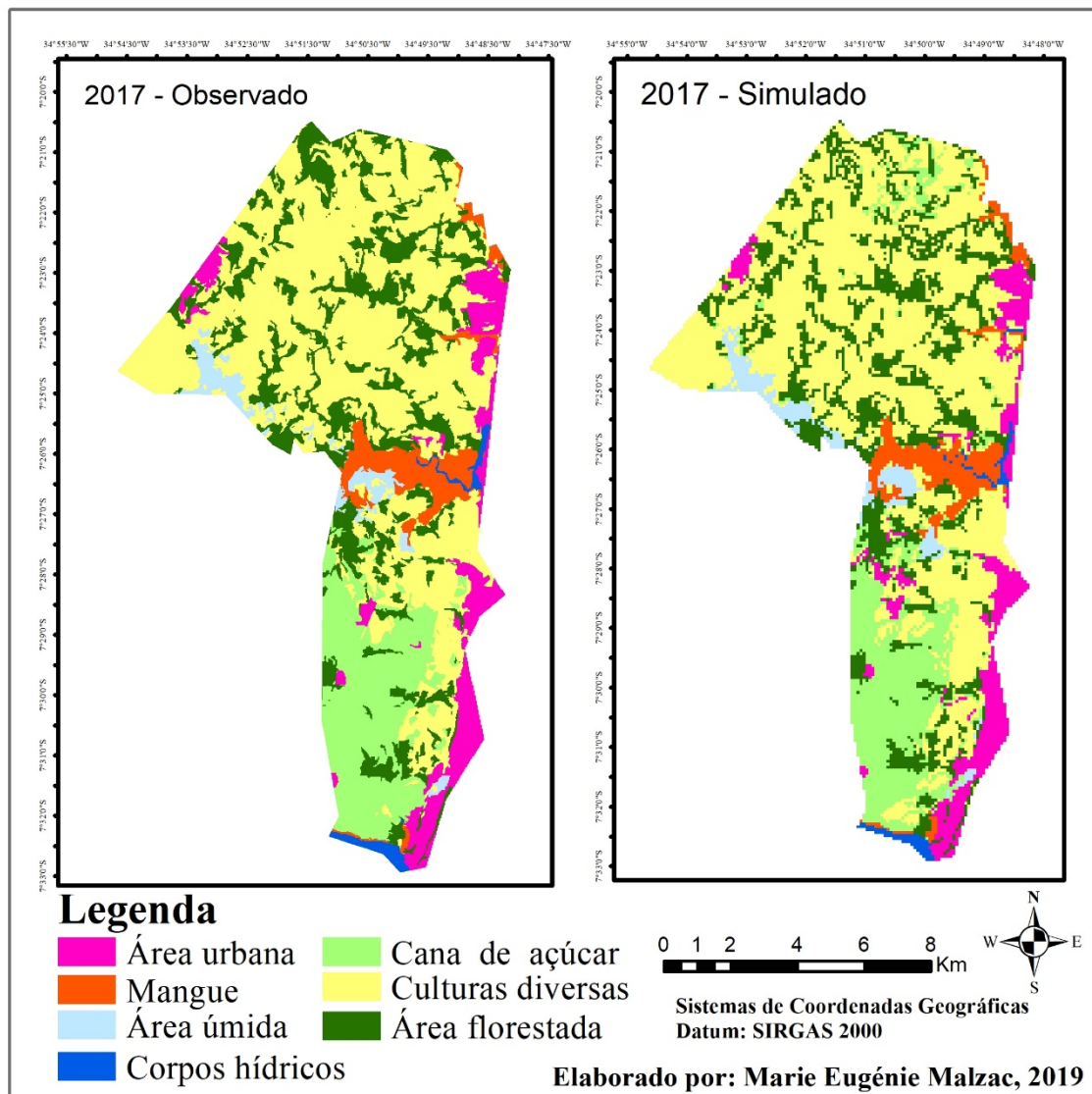
Com isto pode ser aceita a validação, com a quantidade de células da grade no mapa projetado que foi distribuída com percentagens bastante próximas entre as categorias e sua classificação percentual. São mostradas as evoluções das áreas das principais classes de uso do solo no município, bem como os valores obtidos da previsão, ou projetadas, para o ano de 2017, evidenciado as quedas nos valores das áreas das classes Culturas diversas, Áreas florestadas, e aumento da Cana e açúcar e áreas para uso Urbano.

A Figura 3.7 apresenta os dois mapas de 2017, de referência e projetado, com suas classes de uso do solo e na Tabela 3.5 os valores das áreas por classe, onde podem ser notados as áreas e percentuais próximos de referência e projetados.

Tabela 3. 5 – Dados de áreas das classes de 2017, de referência e projetado

Classes	2017 referência	2017 projetado	2017 referência	2017 projetado
	Áreas km ²		%	
Corpos hídricos	1,36	1,25	1,00	0,92
Cana de açúcar	19,10	18,38	14,00	13,47
Culturas diversas	68,07	67,40	49,89	49,40
Mangue	6,33	6,66	4,64	4,88
Áreas úmidas	3,55	4,36	2,60	3,19
Áreas florestadas	27,38	27,66	20,07	20,27
Área urbana	10,64	10,73	7,80	7,87
Total	136,44	136,44	100,00	100,00

Figura 3. 7 – Mapas 2017(projetado) e 2017 (referencia) com suas classes



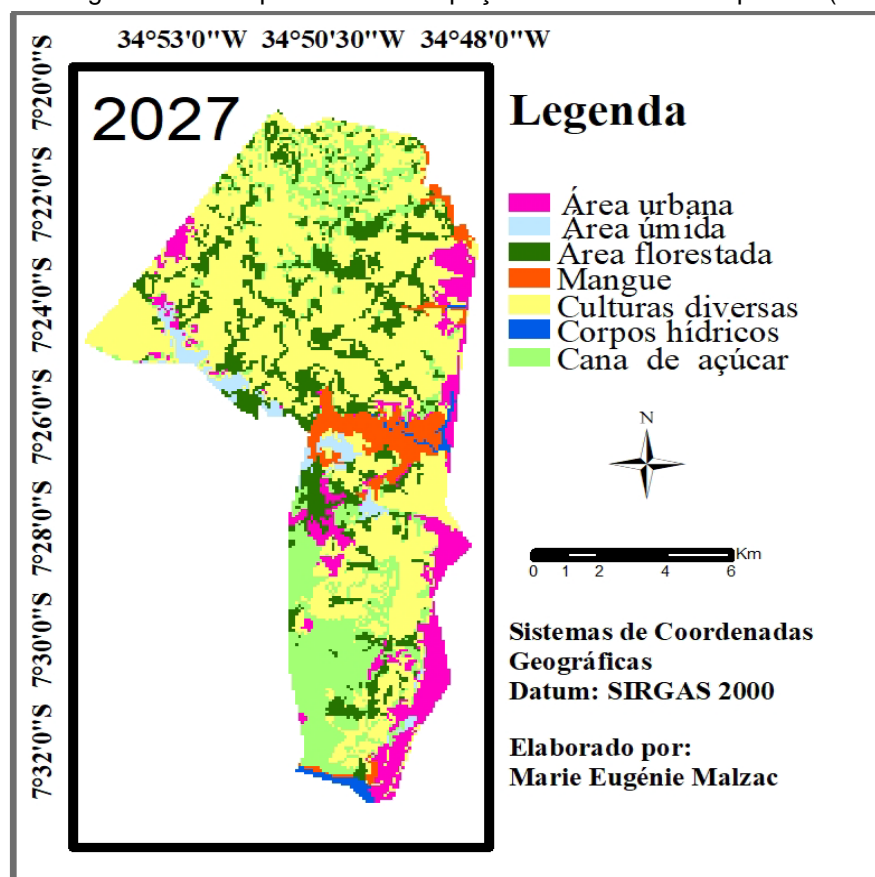
Predição de uso e ocupação do solo para t4 (2027) e t5 (2037)

No período de 10 anos, cenário t4 (2027), o prognostico acompanha a mesma tendência já observada nos anos de 2001 e 2013 com um aumento da classe cana de açúcar, em substituição das áreas de culturas diversas e área florestada. As classes área urbana e cana de açúcar foi previsto um aumento de área de 2,46 km² e 3,45 km² respectivamente e diminuição das áreas florestadas de 3,88 km², sendo uma redução de 14,19%, comparado a 2017.

Na Figura 3.8, a classe urbana mostra maiores proporções na faixa Leste do município, e com menores áreas nas porções central e Oeste, já para a classe

cana de açúcar a região de maior modificação está localizada na porção norte da área de estudo.

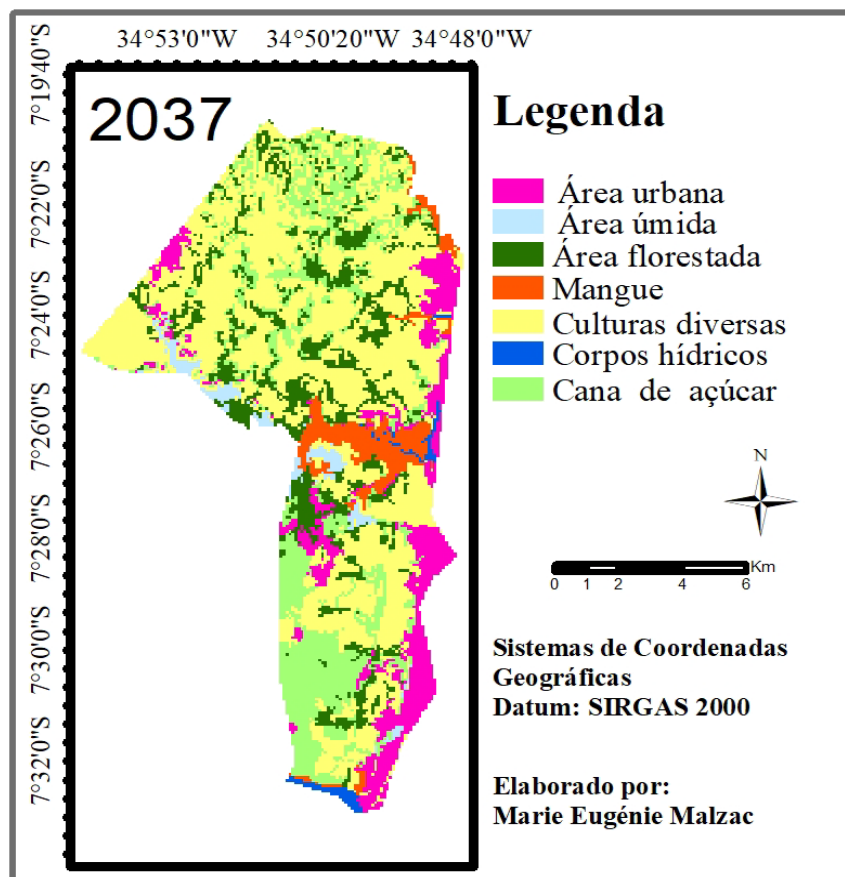
Figura 3. 8 – Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t4 (2027)



No cenário para t5 (2037), um prognóstico para um período de 20 anos é mostrado na Figura 3.9. Para este cenário, a classe área urbana mostrou maior variação de área ocupada com relação a 2017, apresentando um crescimento por volta de 43%, em que sua área passou de 10,64 km² em 2017 para 15,22 km² em 2037 (Tabela 3.7). O aumento de área dessa classe foi previsto para as porções Leste, Oeste e Sudoeste do município. A classe Cana-de-açúcar apresentou o segundo maior crescimento em relação ao mesmo ano, com uma variação de área ocupada de 31,92%. Dessa forma, o aumento dessa classe foi constatado em toda área estudada, sendo intensificado em porções ao Sul e Norte. Com o aumento da área das classes Cana-de-açúcar e Área urbana foi previsto a diminuição da Área florestada em 7,17 km², com relação ao ano de 2017, representando uma redução de área ocupada de 26,19%. Além de uma perda das culturas diversas, em cerca de 4%, devido a mudança com relação aos cultivos

da região, onde essas áreas de culturas podem vir a ser destinadas a cana de açúcar devido a sazonalidade no setor agrícola.

Figura 3. 9 – Mapa de uso e ocupação do solo simulado para t5 (2037)



Comparando com o cenário t4 (2027), notou-se que deve ocorrer a intensificação da classe área urbana para o cenário t5 (2037), onde esta classe mostrou uma área ocupada maior do que o cenário t4, com diferença de 2,12 km². Esse resultado demonstrou que a área urbana no município apresenta a tendência de expansão para t5 (2037). No entanto, a alteração mais significativa entre os cenários é a diminuição da área florestada em 3,29 km², o que representa aproximadamente 14% de redução.

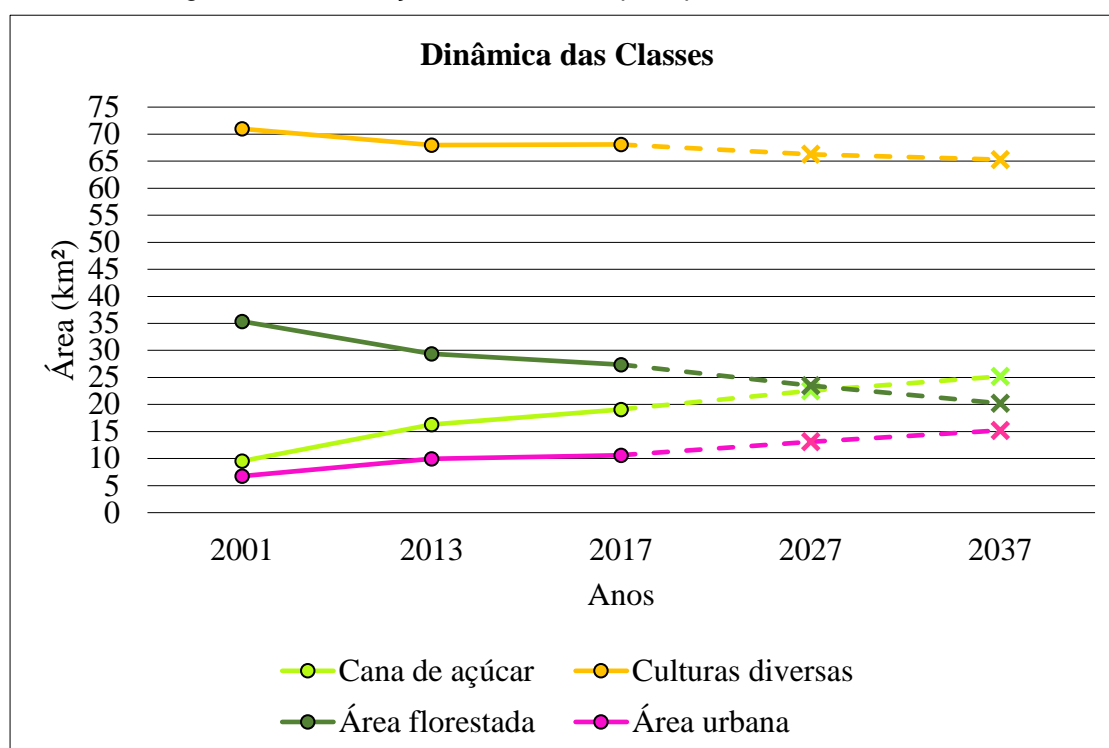
As áreas totais de ocupação de cada uso do solo no município de Pitimbu para 2017 e para os dois cenários de previsão simulados 2027 e 2037 estão apresentados na Tabela 3.6. Constatou-se que as classes área florestada, área urbana, cana de açúcar e culturas diversas demonstraram mudanças significativas nos dois cenários de uso e ocupação do solo simulados.

Tabela 3. 6 – Área das classes de uso e ocupação do solo em 2017 para cenários de predição

Uso e ocupação do solo	2017		2027		2037	
	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Área florestada	27,38	20,07	23,50	17,22	20,21	14,81
Área úmida	3,55	2,60	3,44	2,52	2,94	2,16
Área urbana	10,64	7,80	13,10	9,60	15,22	11,15
Cana de açúcar	19,10	14,00	22,55	16,53	25,20	18,47
Corpos hídricos	1,36	1,00	1,25	0,92	1,25	0,92
Culturas diversas	68,07	49,89	66,27	48,57	65,29	47,85
Mangue	6,33	4,64	6,33	4,64	6,33	4,64
Total	136,44	100,00	136,44	100,00	136,44	100,00

Na Figura 3.10 é mostrado o gráfico das evoluções previstas das áreas das principais classes de uso do solo no município, para os anos do período estudado (2001, 2013 e 2017), bem como os valores obtidos da previsão (2027 e 2037), evidenciando as quedas e crescimento nos valores das classes de maiores mudanças no estudo, ou seja, a diminuição das áreas das classes culturas diversas e áreas florestada, e o aumento da cana de açúcar e área urbana.

Figura 3. 10 - Evolução das áreas das principais classes de uso do solo



3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso, com o uso do software TerrSet, por meio do módulo LCM com uso da Cadeia de Markov e das Redes Neurais, sobre as mudanças das classes de uso do solo no município de Pitimbu, revelou a eficiência do modelo utilizado e possibilitou o entendimento da dinâmica de troca de áreas entre as classes no período estudado.

Deve ser registrada a carência de bancos de dados referentes a mapas de cobertura do uso do solo na região costeira Sul do estado da Paraíba, onde se localiza o município estudado. O processamento digital de imagens foi de fundamental importância para levantamento dos dados, sendo esse processo bastante árduo, com o envolvimento de vários profissionais, com trabalhos de checagem em campo para ser obtido a máxima de precisão nos dados levantados.

Os resultados alcançados, relativos às previsões feitas, levaram à convicção de que o modelo e seus parâmetros podem ser utilizados em outras áreas da Zona Costeira do litoral Sul da Paraíba, onde as mudanças entre as classes apresentem padrões muito díspares.

A modelagem efetuada, e seus resultados, como apresentado neste artigo, também pode ser útil para demonstrar a viabilidade de realização de outros trabalhos destinados à gestão de áreas de conservação e para apoiar estudos dependentes da dinâmica das classes de uso como os de vulnerabilidade ambiental.

Houve a compreensão da modificação quanto o uso e ocupação do solo no município de Pitimbu para os anos de 2001, 2013 e 2017, sendo as áreas de maior proporção as culturas diversas, a área florestada e a cana-de-açúcar. Comparando-se o período de 2001 a 2017, foi identificado também um aumento da Cana-de-açúcar em aproximadamente 7%, além do aumento da área urbana em 2,84%. Parte da classe área florestada foi substituída ao longo do tempo tanto por atividades agrícolas, como pelo uso urbano nesse período.

A simulação do cenário de uso e ocupação do solo para 2027 e 2037, mostra os impactos para o futuro com o desmatamento devido a expansão da ocupação pelo cultivo da cana de açúcar, culturas diversas e o crescimento urbano.

Ficou demonstrada também a potência dessa ferramenta de modelagem espacial dinâmica para o apoio à gestão ambiental, sendo objeto de suporte à decisão na tomada de medidas ambientalmente sustentáveis por meio de ações preventivas ou corretivas, onde o estudo pode vir a subsidiar o planejamento e gerenciamento em nível de municípios ou estados, além de regiões específicas como a Zona Costeira.

3.5 REFERÊNCIAS

BRASIL. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Pitimbu – PB.** GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS, DO MEIO AMBIENTE E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SEIRHMACT). 2015.

CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13 - Nº 2, p. 144-152, abr/jun 2008.

DZIESZKO, P. Land-Cover Modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. **Quaestiones Geographicae**, v. 33(1), p. 5–22, 2014.

EASTMAN, J. R. **Manual IDRISI TerrSet: Geospatial Monitoring and Modeling System.** Worcester, MA: Editora: Clark Labs da Clark University, 2016. 393 p.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de exatidão global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens de sensoriamento remoto. **In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 2007. 5755-62.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de exatidão global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens de sensoriamento remoto. **In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, Florianópolis/SC, BRASIL, 21 - 26 Abril 2007. 5755- 5762.

FLECK, L. et al. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: PRINCÍPIOS BÁSICOS ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: BASIC PRINCIPLES. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Medianeira Medianeira, Paraná, Brasil, v. 1, n. 13, p. 47-57, 2016. ISSN 2175-1846.

GAGO-SILVA, A.; RAY, N.; LEHMANN, A. Article Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. **ISPRS Internacinal. Jounal. Geo-Infinformacinal.**, v. 6, p. 115, 2017. doi:10.3390/ijgi6040115 www.mdpi.com/journal/ijgi.

HUANG J., W. Y. . G. T. . Z. Y. . C. W. An integrated approach based on Markov Chain and cellular automata to simulation of urban land use changes. **Applied Mathematics and Information Sciences**, v. 9 (2), p. 769–775, 2015.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas.** 2011.

KORANTENG, A.; ZAWILA-NIEDZWIECKI, T. Modelling forest loss and other land use change dynamics in Ashanti Region of Ghana. **Folia Forestalia Polonica**, v. series A 57(2), p. 96-111, 2015.

MISHRA, V. N.; RAI, P. K.; MOHAN, K. Prediction of land use changes based on land changemodeller (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), Índia. **Journal of the Geographical**, Institute Jovan Cvijic, SASA, v. 64, p. 111-127, 2014.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo. 1999.

OUMA, Y. O. Advancements in medium and high resolution Earth observation for land-surface imaging: Evolutions, future trends and contributionsto sustainable development. **ScienceDirect Advances in Space Research**, v. 57 , n. Published by Elsevier Ltd., p. 110–126, 2016.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.038> 0273-1177/ 2015.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de Cenário Prospectivo de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra na Sub-Bacia do Rio Capivara, Botucatu - Sp, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica, Montes Claros, **Revista Cerrados**, v. 14, p. 03, jul/dez 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.unimontes.br/cerrados>>. Acesso em: setembro, 2017.

PITIMBU. **Plano de Gestão Integrada da Orla Marítima do Município de Pitimbu - PB**, 2016. Disponível em: <<http://www.pitimbu.pb.gov.br>>. Acesso em: agosto 2018.

PONTIUS JR, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32:15, p. 4407-4429, Agosto 2011. ISSN 1072954. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>.

QIU, R. et al. Modelling and Simulating Urban Residential Land Development in Jiading New City, Shanghai. **Appl. Spatial Analysis**, 28 Novembro 2017. <https://doi.org/10.1007/s12061-017-9244-4>.

ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and retrieval in the brain. **Psychological Review**, v. 65, p. 386-408, 1958.

SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. D. C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté**, v. 7, n. 1, p. 256-285, jan/ab 2011.

SOARES-FILHO, B. et al. DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazonia brasileira: análise comparativa. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 abril 2013.

Capítulo 4 - MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: DINÂMICA E CENÁRIOS FUTUROS

Este capítulo corresponde ao artigo 3, de mesmo título, a ser submetido para publicação em revista científica.

Deve ser clarificado que devido à falta de banco de dados para ratificar a área de estudo, o processamento digital da imagem de satélites e sua validação na ZC-Sul/PB foram elaborados utilizando os mesmos procedimentos metodológicos baseados no fluxograma da Figura 3.1 do capítulo 3, equivalentes às fases 3 e 4, empregando o município de Pitimbu como referência, por ter sido considerado área representativa da ZC-Sul/PB.

Assim, este artigo teve como objetivo conhecer a evolução de períodos pretéritos e preditivos relativos às mudanças do uso e ocupação do solo (UOS) na ZC-Sul/PB. Foram realizados o mapeamento da evolução dos UOS extraídas das imagens de satélites referentes aos anos 1988, 2001 e 2013; as comparações de parâmetros de perdas e ganhos de áreas das classes do modelo LCM, as curvas de evolução do UOS e curva de ajuste das áreas das classes de uso em Pitimbu e na ZC-Sul/PB. Concluiu-se pela pertinência da utilização dos parâmetros do modelo, determinados em Pitimbu, para aplicação do LCM na ZC-Sul/PB. Em seguida foram inferidos cenários do UOS para os anos de 2023 (T4) e 2033 (T5).

Este artigo contribui, no tema uso do solo, para a determinação dos graus de vulnerabilidade ambiental à perda de solos na ZC-Sul/PB do capítulo 6.

MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: DINÂMICA E CENÁRIOS FUTUROS

CHANGES IN SOIL USE AND COVERAGE IN THE SOUTH COASTAL ZONE OF THE STATE OF PARAIBA, BRAZIL: DYNAMICS AND FUTURE SCENARIOS

Resumo - O processo de desmatamento da Mata Atlântica (MA) na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB) foi intensificado a partir dos anos 1990. O uso e a ocupação do solo (UOS) tem se acentuado pela implementação de culturas agrícolas diversas, incluindo as classes cana de açúcar e urbanização. Neste trabalho é apresentado o mapeamento da dinâmica das alterações do UOS na ZC-Sul/PB, nos anos de 1988, 2001 e 2013. Foram utilizadas imagens de satélites e realizado o processamento através de *softwares* de técnicas de interpretação e classificação automática supervisionada. Também foram feitas previsões dos UOS para os anos de 2023 e 2033 com o modelo *Land Change Modeler* (LCM), o que possibilitou prever as mudanças. As análises temporais e espaciais realizadas, dos cenários pretéritos e preditivos, identificaram grandes mudanças de áreas dos subsistemas da MA, equivalente à classe Áreas florestadas, para as classes Culturas diversas, Cana de açúcar e Áreas urbanas. Palavras Chave: uso e ocupação do solo, desmatamento da Mata Atlântica, dinâmica temporal, *Land Change Modeler*.

Abstract - The Atlantic Forest (MA) deforestation process in the Southern Coastal Zone of Paraíba State (ZC-Sul/PB) was intensified from the 1990s. Land use and occupation (LUC) has been intensified by the implementation of diverse agricultural crops, including the sugarcane and urbanization classes. In this paper is presented the mapping of UOS dynamics in ZC-Sul/PB, including the changes between the various occupation types that occurred. In this paper is presented the mapping of UOS dynamics in ZC-Sul/PB, including the changes between the various types of occupation existing between 1988, 2001 and 2013. Satellite images were used and processing was performed using software of interpretation techniques and automatic supervised classification. UOS predictions were also made for the years 2023 and 2033 with the Land Change Modeler (LCM) model, which made it possible to predict the changes. Temporal and spatial analyzes of

past and predictive scenarios have identified major changes in MA subsystem areas, equivalent to the Forested areas class, to the Miscellaneous crops, Sugar cane, and Urban areas classes.

Key words: land use and occupation, Atlantic Forest deforestation, temporal dynamics, *Land Change Modeler*.

4.1 – INTRODUÇÃO

A busca pelo ordenamento das atividades humanas e pela minimização dos impactos antrópicos nos diversos ecossistemas da zona costeira (ZC) tem sido considerada como um importante de destaque a ser enfrentado pelos gestores públicos do uso e ocupação do solo (UOS). A mudança das paisagens naturais e dos ambientes se dá, em grande parte, em consequência de processos resultantes da ação humana, como a agricultura, silvicultura e urbanização. As mudanças são reconhecidas as causas mais relevantes da perda de biodiversidade nos ecossistemas costeiros (ERASOA, ARMENTERAS-PASCUALB e ALUMBREROS, 2013; LIPP-NISSINEN, PIÑEIRO, *et al.*, 2018.)

A ZC possui características naturais singulares que a destacam como espaço de grande valor ambiental e paisagístico e, ao mesmo tempo, de considerável interesse econômico (OLIVEIRA e SOUZA, 2013). Suas belezas naturais envolvem vários tipos de paisagens como praias, dunas, recifes, costões rochosos, estuários, falésias, banhados e áreas alagadas, que têm sofrido transformações devido às intervenções humanas ao longo de seu processo histórico.

Além disso, a ZC registra expressiva sobreposição territorial com os biomas Amazônia e Mata Atlântica, bem como, em menor escala, com a Caatinga, Cerrado e Pampa, o que a caracteriza não como uma unidade ecológica, mas como um complexo de ecossistemas contíguos formadores de ambientes de alta complexidade ecológica e de extrema relevância para a sustentação da vida (PRATES, GONÇALVES e ROSA, 2012).

A ZC vem sendo ameaçada ao longo da história principalmente devido ao desmatamento dos subsistemas da Mata Atlântica (MA) que estão intrinsicamente associados à história econômica do Brasil. O aparecimento dos núcleos urbanos, derivados da colonização portuguesa, e a disponibilidade de terras aptas para as

atividades agrícolas, com destaque para o cultivo da cana de açúcar no Nordeste brasileiro, têm gerado impactos ambientais e conflitos diversificados e em escala crescente.

Segundo o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (SOSMA, 2019), o período de maior desmatamento no país ocorreu entre os anos de 1985 a 2000. No entanto, deve ser observada a expressiva redução do desmatamento ocorrido nas últimas décadas: a taxa média anual no período de 2016 a 2018 foi de apenas 11,5% ocorrida no período de 1985 a 1995.

Diversos autores exemplificam danos causados aos sistemas ambientais costeiros que podem ser identificados em todo o território brasileiro, como desmatamento, aterro dos biomas, lançamento de efluentes domésticos e industriais nos cursos de água, alterando por completo os índices de qualidade da água. Além disso, as construções nas zonas de praias têm modificado a dinâmica das correntes costeiras, desencadeando alterações na dinâmica sedimentologia da área, entre outros problemas ambientais, resultando também em agravamento da capacidade desse ambiente em suportar os impactos gerados (AMORIM e OLIVEIRA, 2013; LAMBIN e MEYFROIDT, 2014; MUNARI, ASSUNÇÃO e MENEZES, 2018). Não pode ser desconsiderado, entre os problemas da ocupação da ZC, o aumento da susceptibilidade do solo à erosão como decorrência dos seus usos, principalmente a atividade agrícola.

Florenzano (2002) argumenta que para a realização de estudos de evolução dos sistemas ambientais, as técnicas de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento são importantes ferramentas para a análise de fenômenos com expressão territorial, permitindo a espacialização do território através da quantificação, qualificação e localização, bem como o relacionamento com outras variáveis espaciais.

Considerando o UOS como um tema básico para o planejamento ambiental, por retratar as atividades humanas e naturais que impactam o meio ambiente, a compreensão da sua evolução se torna essencial. Nesse sentido, as modernas técnicas de análise temporal e a modelagem dinâmica espacial permitem a realização do acompanhamento das modificações espaciais da paisagem e a predição do comportamento desta no futuro (SILVA, ECKHARDT e REMPEL, 2011).

Segundo Oliveira e Souza (2013) os estudos baseados em cenários, são ferramentas de projeção que permitem retratar as mudanças de uma paisagem, e são considerados como instrumentos analíticos que sugerem opções de futuro. Por assumirem uma dimensão de ação preventiva, os cenários incorporam análises fundamentadas na regulação de usos e estabelecimento de restrições mais severas à ocupação desordenada, visando fornecer aos estudos ambientais vinculados ao planejamento, subsídios para o ordenamento territorial.

Diversos estudos têm sido elaborados na ZC apresentando contribuições para um melhor entendimento da evolução do UOS, e servindo como ferramenta auxiliar ao monitoramento e ao planejamento territorial. São destacados os trabalhos sobre os temas: dinâmica temporal e a evolução do uso do solo (SANTOS e LIMA, 2013; LIPP-NISSINEN, PIÑEIRO, *et al.*, 2018) conflitos e capacidade de uso da terra (ZAVALA-CRUZ, MORALES-GARDUZA, *et al.*, 2016; COSTA e REIS, 2017) e evolução do UOS e suas consequências ambientais (LANDIM-NETO, GORAYEB, *et al.*, 2017).

Com base na dinâmica e previsões da cobertura do uso do solo tem sido implementados modelos de algoritmos computacionais de percepção de mudanças, operações denominadas *Land Use and Land Cover Change Models* (LUCC). Dentre os modelos LUCC pode-se destacar o *Land Change Modeler* (LCM) como um dos mais utilizados mundialmente em estudos relacionados à dinâmica do UOS e como subsídio a pesquisas na área ambiental (XAVIER e SILVA, 2018). Podem ser destacados os estudos sobre os temas: modelagem do UOS usando *perceptron multi-layer* (DZIESZKO, 2014); modelagem de perda de florestas e dinâmicas de mudança do uso da terra (KORANTENG E ZAWILA-NIEDZWIECKI, 2015) e simulação de cenários prospectivos através da modelagem dinâmica (PISANI, DEMARCHI e RIEDEL, 2016; GAGO-SILVA, RAY e LEHMANN, 2017; WEI, XIE, *et al.*, 2017; XAVIER e SILVA, 2018).

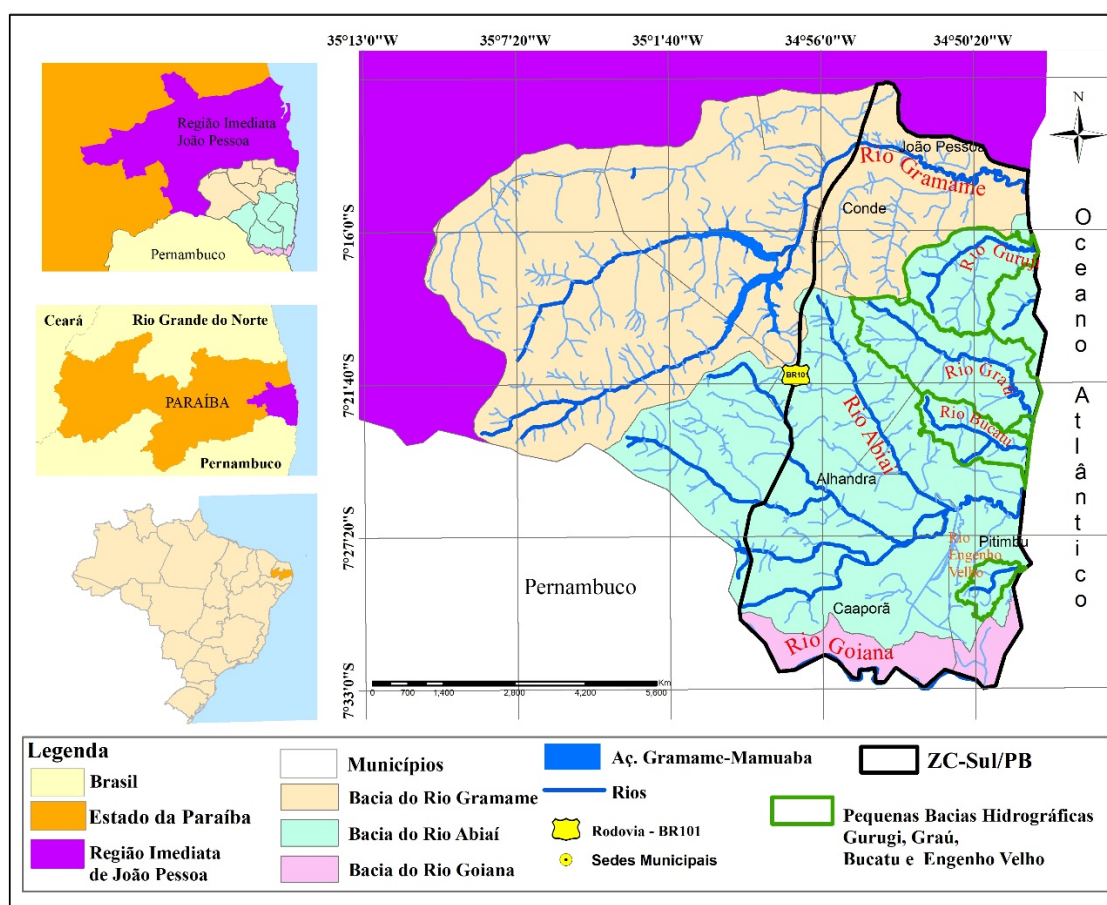
Nesse contexto, procurou-se identificar, quantificar e mapear as classes temáticas de UOS na Zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB) utilizando imagens de satélite Landsat, entre os anos de 1988, 2001 e 2013. Também foram feitas predições para os cenários dos anos de 2023 e 2033, utilizando o modelo LCM, que possibilitaram inferir as tendências das mudanças nos padrões dos UOS.

4.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 – Caracterização da área de estudo

A área de estudo da ZC-Sul/PB foi objeto de estudo para a sua delimitação, realizado por Malzac e Cabral da Silva (2019), compreendendo diversos critérios, tendo sido considerado o traçado do limite Oeste coincidente com a rodovia BR-101 como o mais adequado (Figura 4.1). Esta se localiza entre as latitudes 07° 11' e 07° 50' Sul, e de longitude 34° 59' e 35° 53' Oeste, nas regiões geográficas Imediatas e Intermediárias de João Pessoa, no Nordeste do Brasil. É composta pelas bacias hidrográficas (BH) dos rios Gramame, Abiaí e parcialmente da BH do rio Goiana, entre outras de menor porte, como as dos rios Gurugi, Graú e Mucatu que drenam diretamente para o Oceano Atlântico (OA).

Figura 4. 1 – Área de localização da ZC-Sul/PB



A ZC-Sul/PB apresenta área de 599,87 km² e abrange cinco municípios, sendo Caaporã e Pitimbu em sua totalidade e os municípios de Conde e Alhandra em sua maior parte, além de pequena parcela do município de João Pessoa compreendendo apenas os bairros de Barra de Gramame, Gramame e Muçumago. O município do Conde é o que apresenta a maior área na ZC-Sul/PB. Na tabela 4.1 é apresentado um resumo relativo às características de áreas e linhas de costa dos municípios formadores da ZC-Sul/PB.

Tabela 4. 1 - Resumo de áreas e de linhas de costa de municípios da ZC-Sul

Município	Área (km ²)	Área da ZC-Sul (km ²)	Participação na ZC-Sul (%)	Linha de costa (km)
Alhandra	182,66	120,85	20,15	-
Conde	172,95	167,23	27,88	16,50
Caaporã	150,17	150,17	25,03	-
João Pessoa	211,47	25,18	4,20	1,27*
Pitimbu	136,44	136,44	22,74	22,85
Total	-	599,87	100,00	40,62

*Parte da linha de costa do bairro de Barra de Gramame

Na ZC-Sul/PB existem duas áreas destinadas à conservação e à preservação ambiental. A área de Proteção Ambiental Estadual de Tambaba (APA-Tambaba) criada pelo Decreto Estadual Nº 276/1991, com 114,5 km², que é administrada pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (PARAÍBA, 1991). Essa área abrange partes dos municípios de Conde, Alhandra e Pitimbu, com expressiva presença de fragmentos de MA primária e de manguezais. Mais ao Sul, a Reserva Extrativista Acaú-Goiana (RESEX Acaú Goiana), administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, localiza-se nos municípios de Pitimbu e Caaporã na Paraíba e de Goiana, no vizinho estado de Pernambuco, na parte estuarina do rio Goiana, com área de 8,06 km² no lado paraibano e 114,2 km² no lado pernambucano (BRASIL, 2000).

O clima predominante da ZC-Sul/PB, de acordo com a classificação climática de Köppen é o As', com duas estações bem definida. A estação quente, que permanece por 4 meses, de 22 de dezembro a 21 de abril, com temperaturas máximas médias diárias acima de 31 °C; a estação fresca ou amena permanece

por 2,8 meses, de 18 de junho a 12 de setembro, com temperaturas máximas diárias médias abaixo de 29 °C. (WEATHERSPARK, 2018; INMET, 2019). Os estudos sobre as precipitações médias anuais na ZC-Sul/PB, descritos no capítulo 5, mostraram variação entre 1.500 e 1.900 mm, sendo os meses de abril, maio, junho e julho os mais chuvosos.

Na ZC-Sul/PB predominam depósitos neógenos da Formação Barreiras, os sedimentos aluviais e praias quaternários e, também estão presentes as formações sedimentares cretáceas sotopostas, pertencentes à Bacia sedimentar marginal Pernambuco-Paraíba: Beberibe, Gramame e Maria Farinha. A geomorfologia está caracterizada pelos domínios das baixadas litorâneas e planaltos costeiros, esses últimos em muito maior proporção. As baixadas litorâneas são formadas basicamente por sedimentos marinhos, fluviais e flúvio-marinhos, representando um relevo relativamente baixo. Ocorrem ainda planícies fluviais, áreas instáveis que sofrem frequentes alterações motivadas pelos períodos chuvosos, onde se verifica a recorrência de processos erosivos, bem como deposição em épocas de estiagem (FURRIER, 2007; SANTOS, FREITAS e FURRIER, 2015).

Os tipos de solos encontrados na ZC-Sul correspondem aos solos: Solos Gley Distróficos e Latosol nos tabuleiros litorâneos e nas planícies flúvio-marinho, os solos: Areia Quatzosas Marinhas Distróficas (Dunas), Podzol Hidromórfico, Podzólico Vermelho Amarelo, Solos Aluviais, Solos Aluviais e Solos Indiscriminados de Mangue (PARAÍBA, 2006).

A ZC-Sul paraibana apresenta os seguintes tipos de vegetação: Pioneira, Campos e Matas de Restinga, Manguezais, Mata Úmida e Cerrado, subsistemas da MA. Os manguezais estão localizados nos estuários na parte interior da planície, até a região suscetível às influências marinhas pelo fluxo e refluxo das marés, com a presença de uma formação florestal perenifólia (MDA/SDT, 2010).

Com relação à ocupação da ZC-Sul/PB, além do avanço da agricultura, Malzac e Cabral da Silva (2019) revelam que diversos projetos viários, de loteamentos e de indústrias têm sido implantados e apontam a efetivação da duplicação da rodovia BR-101, que liga estado da Paraíba ao estado de Pernambuco e a rodovia estadual Ministro Abelardo Jurema (PB-008), entre João Pessoa e o município de Pitimbu, como os impulsionadores desse processo.

Segundo informações sintetizadas do site do IBGE (IBGE, 2017), as principais culturas plantadas na ZC-Sul/PB são a cana-de açúcar e culturas diversas, destacando-se a mandioca. Também ocorrem as culturas de abacaxi, batata-doce, melancia e feijão, entre outras com menores expressões.

4.2.2 – Obtenção e tratamento dos dados utilizados

O levantamento de dados consistiu em pesquisar imagens de satélites Landsat, com resolução espacial de 30m. As imagens usadas foram os satélites Landsat dos sensores *ETM Landsat-6*, para o ano de 1988, *ETM+ Landsat-7* para o ano de 2001, e OLI/ TIRS para a Landsat-8 para o ano de 2013. Essas imagens foram obtidas do site de acesso livre do *United States Geological Survey* (USGS), nas órbitas 214, ponto 65, tendo 8 bandas espectrais cada uma. Devido à região estudada se situar no litoral é comum que ocorra uma grande formação de nuvens mostradas nas imagens. Portanto, o critério de uma mínima cobertura de nuvens foi estabelecido arbitrariamente, para a escolha das imagens, visando a análise temporal do UOS. O sistema de projeção de coordenadas utilizado foi o UTM (Universal Transversa de Mercator), Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, *Sirgas* 2000, zona 25 S.

No processamento para o tratamento das imagens na ZC-Sul/PB, objetivando a extração do UOS, foram utilizados os softwares SPRING 5.2.7 e o ArcGis 9.3, conforme procedimento descrito no capítulo 3.

As classes definidas para as análises do UOS foram: Área urbana, Área florestada, Mangue, Área úmida, Apicum, solo exposto, Culturas diversas (banana, acerola, coco, macaxeira, inhame, feijão, entre outras), Cana de açúcar, Bambu e Corpos hídricos.

4.2.3 – Procedimentos da modelagem dinâmica espacial e da validação dos resultados

- Procedimentos da modelagem dinâmica espacial

O procedimento para a avaliação da modelagem da dinâmica das paisagens (mudanças do UOS) foi realizado com uso do módulo Land Change Modeler (LCM), contido no software TerrSet, conforme detalhado no capítulo 3.

Por meio da modelagem se torna possível analisar as tendências da dinâmica com base nos dados históricos, considerando os principais vetores das mudanças, permitindo prever possíveis configurações espaciais. A validação dos resultados é baseada na comparação entre o mapa simulado e o mapa observado que serve de referência, buscando obter os melhores índices de concordância.

Uma base oficial de dados cartográficos de precisão da ZC-Sul/PB deveria estar disponível para ser utilizado como padrão para a validação. Inexistindo uma base de dados, o procedimento metodológico para a modelagem, visando a predição das mudanças do UOS, teve como referência o estudo realizado e descrito no capítulo 3, com valores validados para o ano de 2017 no município de Pitimbu, que apresenta características de evolução do UOS semelhantes às da ZC-Sul/PB.

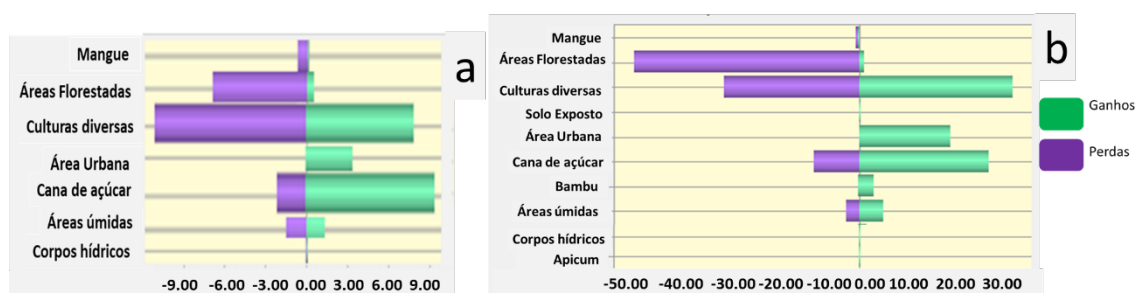
Na modelagem realizada para o município de Pitimbu, foram identificadas as transições mais importantes e geradas as transições potenciais ou de maior significação. Desta forma, as transições observadas foram: Área florestada para Culturas diversas; Área florestada para cana de açúcar; Culturas diversas para Cana de açúcar; Culturas diversas para Área urbana; Cana de açúcar para Culturas diversas. Na Figura 4.2 é apresentado o gráfico usado para identificar as perdas e ganhos de áreas das classes de UOS no modelo entre 2001 e 2013 no município de Pitimbu e na ZC-Sul/PB.

A resposta para o modelo simulado no município de Pitimbu foi obtida por meio das estatísticas de quantidade, considerando que o mapa simulado estava em concordância com o mapa de referência do ano de 2017. Foi obtido o índice de concordância Kappa (K) com valor igual a 0,9090, indicando uma representação considerada como quase perfeita entre os modelos gerado e simulado. Segundo Souza; Silva e Paes (2012), a concordância quase perfeita ocorre para K entre 0,8 e 1,0.

- Validação dos resultados

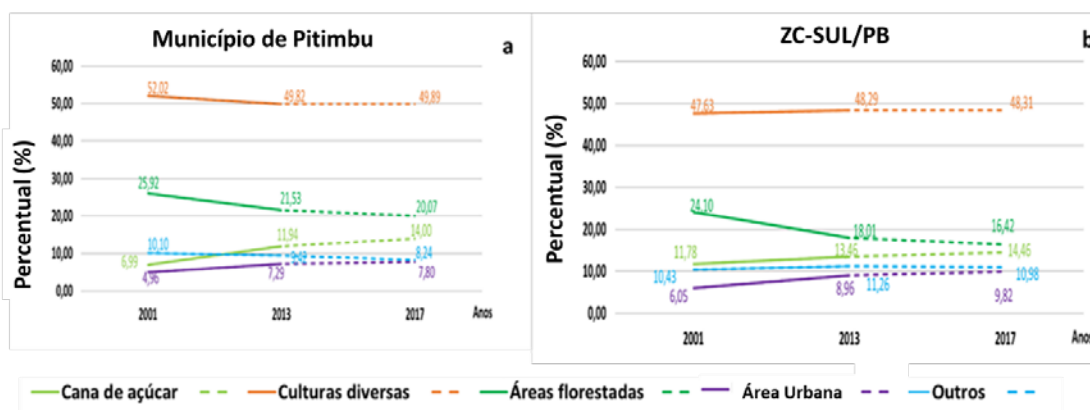
O gráfico de perdas e ganhos de áreas das classes de uso da ZC-Sul/PB apresentou um conjunto de trocas bastante similares às verificadas em Pitimbu, constante no capítulo 3. A comparação, mostrada na Figura 4.2, indicou um comportamento de mudanças do UOS praticamente homogêneo entre o município de Pitimbu e a ZC-Sul/PB.

Figura 4. 2 – Gráfico de perdas e ganhos das classes de UOS (km²): Pitimbu (a) e ZC-Sul/PB (b)



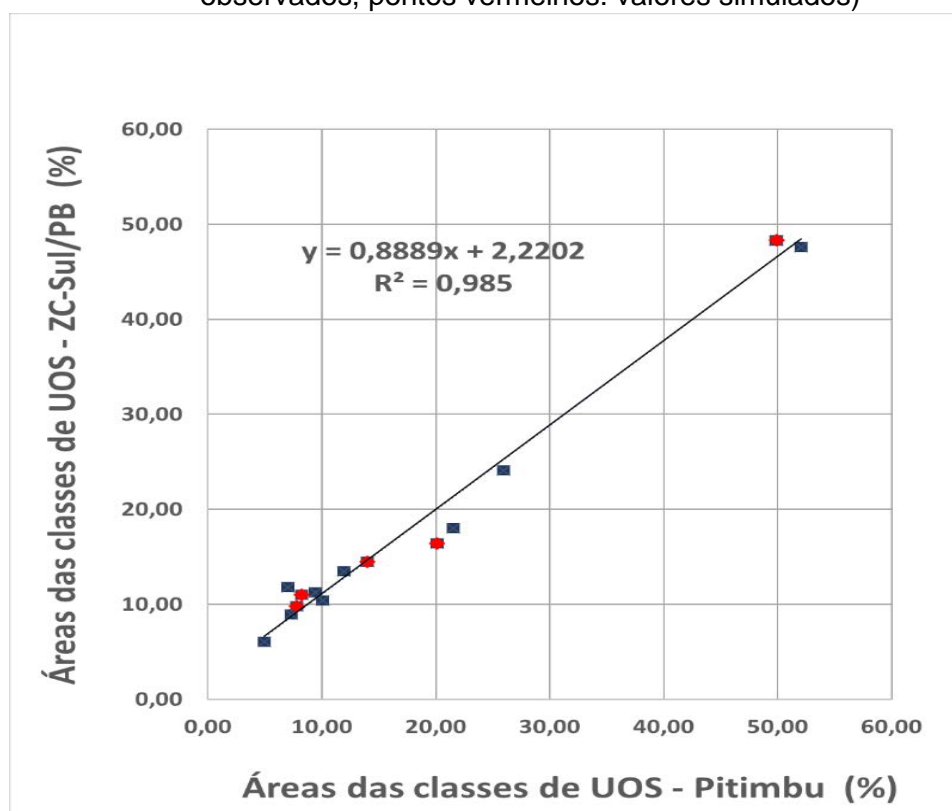
As classes Mangue, Áreas úmidas, Solo exposto, Apicum e Corpos hídricos não foram consideradas nas transições, para as simulações das duas áreas, por resultarem em valores insignificantes e praticamente invariáveis, sem possibilidade de influência na modelagem, como baseado em procedimento devido a Dzieszko (2014). A classe de uso Bambu, por se localizar praticamente no interior da APA-Tambaba, não foi anexada às transições. Na Figura 4.3 constam os gráficos de evolução do UOS para Pitimbu, já mostrados no capítulo 3, e para a ZC-Sul/PB com valores observados e simulados para o ano de 2017. É notória a semelhança entre as curvas de evolução das classes de uso entre as duas áreas, o que leva à indicação da validação do uso dos parâmetros de Pitimbu para aplicação do modelo na ZC-Sul/PB.

Figura 4. 3 – Gráficos da evolução das classes de uso: Pitimbu (a) e na ZC-Sul/PB (b)



No gráfico da Figura 4.4, são apresentados os valores percentuais das áreas das classes de UOS observados e simulados com uso do LCM em Pitimbu e na ZC-Sul/PB. Pode ser constatada mais uma evidência referente à qualidade bastante satisfatória de representação do modelo, o que indica a sua adequação na aplicação para outros cenários. No caso, o coeficiente de determinação r^2 equivale a um ajuste classificado como muito forte segundo os critérios relatados por Callegari-Jacques (2003).

Figura 4. 4 - Diagrama de dispersão de valores de áreas do UOS (pontos azuis: valores observados, pontos vermelhos: valores simulados)



Os resultados, considerando os critérios de semelhança dos gráficos de perdas e ganhos das classes, da evolução e do ajuste entre os valores das áreas das classes de uso, referidos ao município de Pitimbu e à ZC-Sul/PB, justificam o uso do mesmo conjunto de parâmetros do modelo LCM, validado em Pitimbu, para a aplicação na ZC-Sul/PB.

4.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modificações dos UOS para os anos pretéritos

A distribuição espacial das classes de uso e a tabela com os valores de áreas e percentuais nos anos de 1988, 2001 e 2013 são apresentados na Figura 4.5. As principais mudanças percebidas foram as substituições das áreas ocupadas com a classe Áreas florestadas para áreas agrícolas (Culturas diversas e Cana de açúcar) e para Áreas urbanas.

No período estudado foram observadas grandes perdas de áreas florestadas, que correspondia a maior área entre as classes. Este valor percentual, que era de 43,99%, teve uma redução de 25,98%, que corresponde a uma perda neste período de 155,80 km² de área desta classe.

Culturas diversas foi a classe de uso do solo com maior crescimento, com expansão de área de 87,28 km², equivalente ao percentual de acréscimo de 14,55%. Sua distribuição espacial mostra ocorrências em quase toda a ZC-Sul/PB, com exceção da porção da Sul, ocupada com cana de açúcar em todos os anos do período.

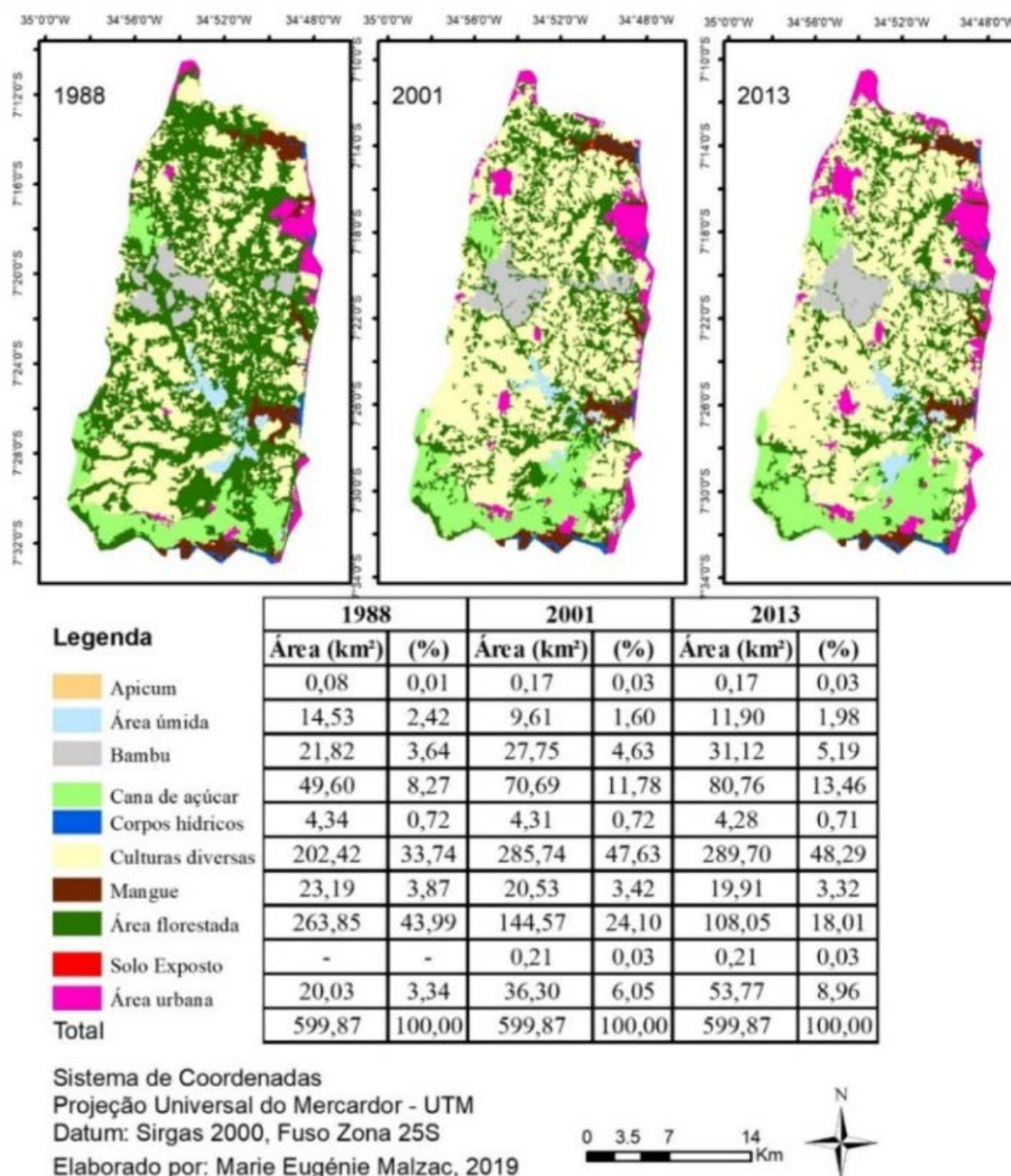
A classe Áreas urbanas teve o segundo maior aumento entre as classes, equivalente a 33,74 km² ou 5,62%, observado em maiores proporções na faixa Leste da ZC-Sul/PB, principalmente na porção Nordeste.

O aumento percentual da classe Cana de açúcar no período foi de 5,19%, correspondendo à área de expansão de 31,00 km². A região de maior expansão foi a da porção sul da ZC-Sul/PB, onde se observou aumento concentrado da classe Cana de açúcar, principalmente no intervalo entre 1988 e 2001.

As classes Solo exposto, Área úmida, Apicum e Corpos Hídricos apresentaram pequenos percentuais de variação, de apenas 3,15% em 1988, para 2,75% em 2013. De forma semelhante, a classe mangue teve decaimento

de apenas 0,55% nesse período, observando-se que a sua área não é considerada insignificante, de 3,32% em 2013. O crescimento de área da classe Bambu foi de apenas 1,55%, o que pode ser explicado pela sua situação, em grande parte, na APA-Tambaba.

Figura 4. 5 – Distribuição espacial das UOS e valores percentuais e áreas nos anos de 1988, 2001 e 2013



Cenários preditivos dos UOS para os anos de 2023 e 2033

A distribuição espacial das classes de UOS para os cenários relativos aos anos de 2023 e 2033 na ZC-Sul/PB é apresentada na Figura 4.6, além da tabela com seus valores percentuais e áreas.

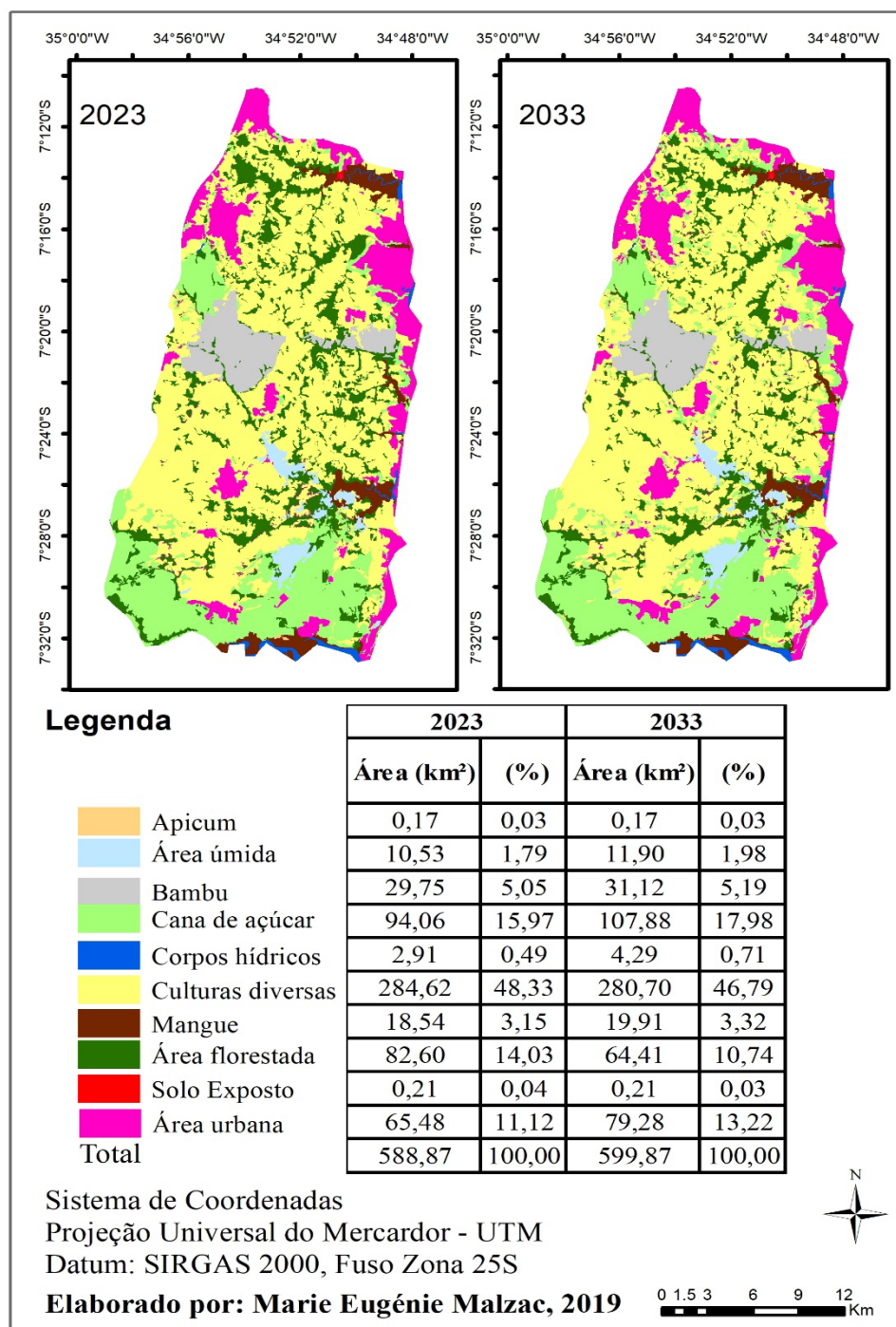
As modificações dos UOS para o período preditivo, de 2013 a 2033, evidenciam uma continuidade nas mudanças. Na classe Áreas florestadas ficou registrado o maior percentual de perdas, no valor de 7,27%, que corresponde à área de 43,64km². Neste período, a classe Cana de açúcar mostrou a maior variação de área ocupada com ganho de 4,52%. O aumento dessa classe é evidenciado com maior intensidade na porção Sul da ZC-Sul/PB, à semelhança do período pretérito.

A classe Área urbana atingiu o segundo maior crescimento, com uma variação positiva e sempre crescente, de 4,26%, principalmente nas porções ao Leste e Nordeste, seguindo o período anterior.

A classe Culturas diversas apresenta ainda a maior área entre as classes da ZC-Sul/PB sendo mantida essa previsão para 2033, com o valor de 280,70 km². No entanto, se prevê uma pequena perda percentual no valor de 1,5%. Pode ser constatado que essa perda tende a se distribuir para as classes do seu entorno, Cana de açúcar e Áreas urbanas, que sempre tiveram crescimento. Foi observada a distribuição crescente em quase todas as porções da ZC-Sul/PB, excetuando-se a zona Sul.

À semelhança do período de 2001 a 2013, não houve mudanças significativas entre as outras classes de uso que não apresentavam participação significativa na ZC-Sul/PB. Estas praticamente permaneceram com os mesmos valores do último ano de referência no período pretérito.

Figura 4. 6 – Distribuição espacial dos UOS e seus valores percentuais e áreas nos anos de 2023 e 2033

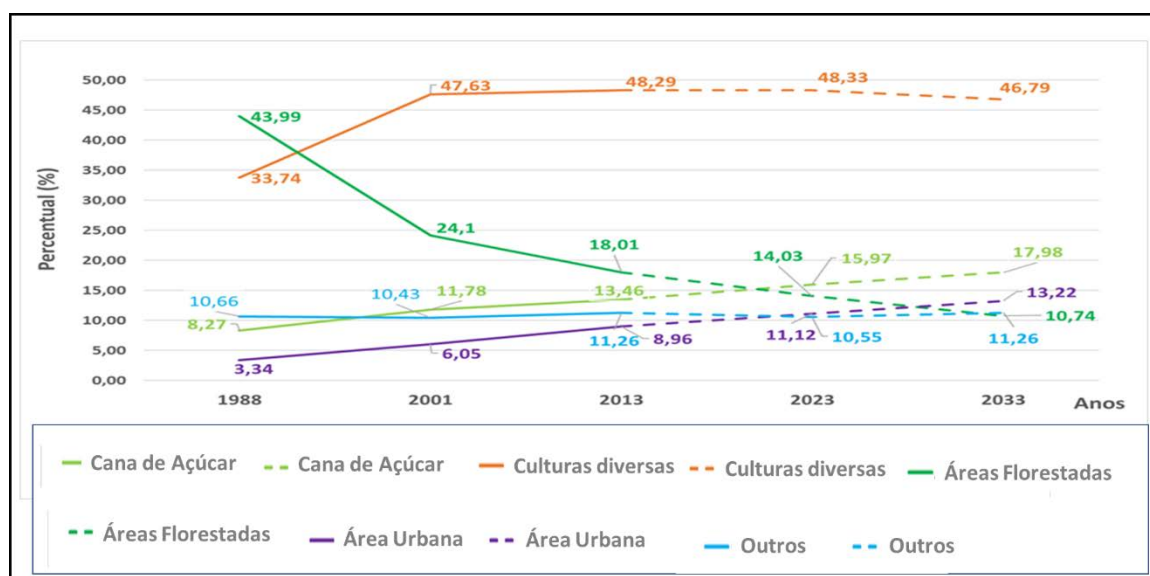


Uma visão completa da evolução e das tendências dos UOS na ZC-Sul/PB, pode ser observada na Figura 4.7. Neste gráfico pode ser observado um grande crescimento da classe Culturas diversas entre 1998 e 2001, seguido de um crescimento discreto até 2023, e de leve decaimento até 2033.

No sentido inverso, a classe Áreas florestadas apresentou forte decaimento no período estudado, com perda de 25,98%, e tendência de perda bastante atenuada, de 7,27%, no período preditivo, clarificando o processo de trocas do UOS principalmente ente as classes Áreas florestadas para Culturas diversas.

As classes Cana de açúcar e Áreas urbanas mantiveram tendências de crescimento nos dois períodos, com declividades semelhantes, sugerindo haver ganhado da classe Áreas florestadas e Culturas diversas, em menor percentual.

Figura 4. 7 – Evolução dos UOS da ZC-Sul/PB



4.4 – CONCLUSÕES

Neste trabalho, buscou-se conhecer a evolução do UOS, a partir do ano de 1988, na zona costeira Sul do estado da Paraíba em períodos pretéritos e preditivos até o ano de 2033.

O estudo foi realizado a partir de uma combinação de métodos, envolvendo Sensoriamento Remoto (SR) no processamento digital de *imagens TM-Landsat-5, ETM+ Landsat-7 e OLI/TIRS para o Landsat-8*, para obtenção das classes do UOS e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os autônomos celulares e cadeia de Markov, foram utilizados para predição dos UOS, por meio do modelo LCM, que possibilitou prever as tendências das mudanças.

As principais mudanças do UOS ocorreram principalmente em função do forte desmatamento relativo à classe Áreas florestadas, subsistemas da Mata Atlântica, distribuídas em praticamente toda a ZC-Sul/PB, ao longo do período estudado.

Pôde ser constatado que as previsões para a cobertura do UOS para os cenários futuros expressaram um padrão de continuidade que indicou transições harmônicas entre as classes, compatíveis com os cenários observados no período anterior.

Se a tendência das alterações dos UOS na ZC-Sul/PB se mantiverem como previsto, podem ser alcançados, no horizonte desse estudo, níveis severos de degradação ambiental. Neste sentido, a avaliação da vulnerabilidade ambiental à perda de solo, entre outros ativos ambientais, poderá ser inferida, permitindo o conhecimento necessário para o planejamento e ordenamento territorial, de forma a compatibilizar os diversos UOS segundo o planejamento para a conservação ambiental.

4.5 – REFERÊNCIAS

- AMORIM, R. A.; OLIVEIRA, R. C. Zoneamento Ambiental, Subsídio ao Planejamento do Uso e Ocupação de Terras da Costa do Descobrimento. **Mercator**, Fortaleza, v. 12, n. 29, p. 211-231, set./dez, 2013.
- BRASIL. **A Reserva Extrativista Acaú-Goiana, Lei Federal no 9.985/2000, Art. 18º. 2000.** Site da RESEX Acaú-Goiana: <https://sites.google.com/site/bibliotecavirtualdaresex/http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/bioma>. [S.l.]: [s.n.]. 2000.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** [S.l.]: Porto Alegre: Artemed, 2003. 255 p.
- COSTA, A. M. D.; REIS, R. S. Análise de Conflitos no Uso do Solo em Apps: O Uso de Sensoriamento Remoto no Entorno de Um Sistema Estuarino Lagunar. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR), v. 10, n. 3, p. 775-788, jul./set. 2017. ISSN 1981-9951 - e-ISSN 2176-9168. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n3p775-788>.
- MDA/SDT. **Plano Territorial De Desenvolvimento Rural Sustentável – PTDRS Território da Zona da Mata Norte-PB, Paraíba - 2010.** Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA e Secretaria de Desenvolvimento Territorial –. Paraíba. 2010.

- DZIESZKO, P. Land-Cover Modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. **Quaestiones Geographicae**, v. 33(1), p. 5–22, 2014.
- ERASOA, N. R.; ARMENTERAS-PASCUALB, D.; ALUMBREROS, J. R. Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios. **Journal of Land Use Science**, v. 8, No. 2, p. 154 –174, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2011.650228>.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. [S.l.]: São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p., 2002.
- FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da carta de João Pessoa – 1:100 000**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.
- GAGO-SILVA, A.; RAY, N.; LEHMANN, A. Article Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. ISPRS Internacinal. **Jounal. Geo-Infinformacinal.**, v. 6, p. 115, 2017. doi:10.3390/ijgi6040115 www.mdpi.com/journal/ijgi.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal – PAM. Site (https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados)** site visitado em dezembro de 2017, as 10:00h. 2017.
- INMET, I. N. D. M. **Normal climatológica de 1981-2010**. [S.l.]: [s.n.]. 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso em Junho de 2019.
- KORANTENG, A.; ZAWILA-NIEDZWIECKI, T. Modelling forest loss and other land use change dynamics in Ashanti Region of Ghana. **Folia Forestalia Polonica**, v. series A 57(2), p. 96-111, 2015.
- LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Trends in Global Land-Use Competition. In: SETO, K.C. and REENBERG, A. **Rethinking Global Land Use in an Urban Era**, p. 11-22, 2014.
- LANDIM-NETO, F. O. et al. Análise da Evolução Espaço-temporal (1958 - 2012) dos Sistemas Ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 82-94, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30235> 82.
- LIPP-NISSINEN, K. H. et al. Temporal dynamics of land use and cover in Paurá Lagoon region, Middle Coast of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management/ Revista da Gestão Costeira Integrada** , v. 18(1), p. 25-40, 2018. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n106_Lipp-Nissinen.pdf. DOI:10.5894/rgci-n106.
- MALZAC, M. E.; CABRAL DA SILVA, T. Delimitações da zona costeira Sul do estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 19(2), p. 123-141, 2019. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n260_Malzac.pdf.
- MUNARI, B.; ASSUNÇÃO, V. K. D.; MENEZES, T. B. D. Problemas socioambientais decorrentes da urbanização e turismo: estudo de caso da

Lagoa das Capivaras, Garopaba (SC), Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44 , p. 242-266, fevereiro 2018.

OLIVEIRA, A. C. C. D. A.; SOUZA, R. M. E. Cenários Biofísicos e Ordenamento Territorial no Litoral Sul de Sergipe-Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 2, Nº 2, p. 62 – 83, Julho/Dezembro 2013.

PARAÍBA. **Decreto N. 276, de 25 de janeiro de 1991. Institui Área de Proteção Ambiental Estadual de Tambaba.** 1991.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídrico (PERH-PB).** João Pessoa - PB: Governo do Estado da Paraíba - Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA - Consócio - TC/BR - Concremat, 2006. 112 p.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de Cenário Prospectivo de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra na Sub-Bacia do Rio Capivara, Botucatu - Sp, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica, Montes Claros, **Revista Cerrados**, v. 14, p. 03, jul/dez 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.unimontes.br/cerrados>>. Acesso em: setembro, 2017.

PRATES, A. P. L.; GONÇALVES, M. A.; ROSA, M. R. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil.** Brasília, MMA: [s.n.], 2012. 152 p.

SANTOS, M. D. S.; FREITAS, G. M. A. D.; FURRIER, M. Mapeamento geomorfológico da área correspondente às folhas Alhandra e Pitimbu 1:25.000. **Cuadernos de Geografía | Revista Colombiana de Geografía** |, Bogotá, Colombia, v. 24, n.º 1, p. 87-99, ene.-jun 2015. ISSN 0121-215X (impreso) 2256-5442 (en línea) |.

SANTOS, V. A. A. D.; LIMA, Z. M. C. Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo no Litoral de Macau-RN no Período de 1978 a 2008. **HELOS**, v. 6, ANO 29, p. 92-102, 2013. ISSN 1807-1600.

SILVA, J. F. E.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Modelagem dinâmica espacial da cobertura florestal nativa do município de Roca Sales - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/4, p. 527-544, 2011.

SOSMA, F. S. M. A. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Relatório Técnico. PERÍODO 2017-2018.** São Paulo: [s.n.], 2019. Acesso: <http://mapas.sosma.org.br>.

SOUZA E SILVA, R. D.; PAES, Â. T. Teste de concordância Kappa. **Educação Continuada Saúde Einstein**, v. 10(4), p. 165-6, 2012.

WEATHERSPARK. **Site** (<https://pt.weatherspark.com/y/31438/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Jo%C3%A3o-Pessoa-Brasil-durante-o-ano>) site visitado em 26/1/2018, as 10:00h. [S.l.]: [s.n.]. 2018. <https://pt.weatherspark.com/y/31436/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pitimbu-Brasil-durante-o-ano>.

WEI, W. et al. Spatial Temporal Analysis of Land Use Change in the Shiyang River Basin in Arid China, 1986-2015. **Polish Journal Environmental Studies**, v. 26, n. 4, p. 1789-1796, 2017.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, R. M. D. Modelagem Temporal Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo Baseado em Sig para a Bacia do Rio Tapacurá (Pe). **Geociências**, v. 37, n. 1, p. 193 - 210, 2018.

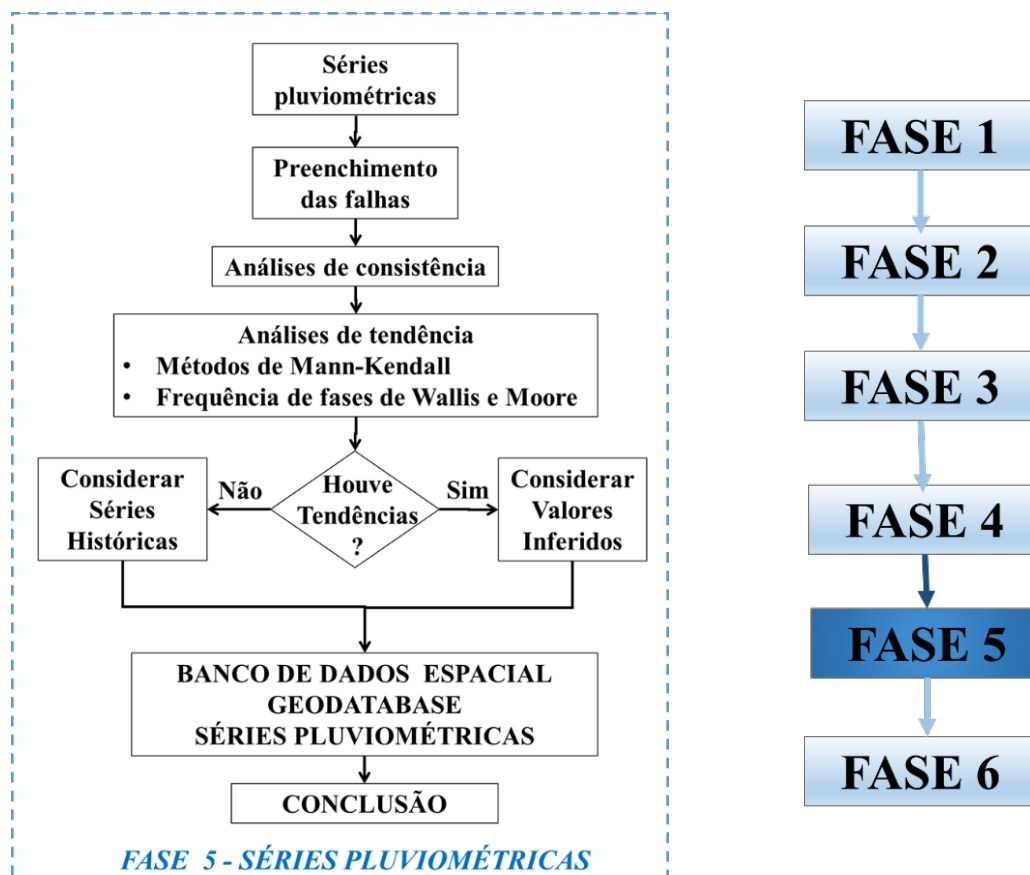
ZAVALA-CRUZ, J. et al. Capacidad de Uso del Suelo Urbano em Planicies Fluviales Costeras: El Caso De Villa hermosa, Tabasco, México. **Revista Interciencia**, v. 41 N° 5, MAY 2016. ISSN 0378-1844/14/07/468-08.

Capítulo 5 – ANÁLISES DE TENDÊNCIAS E DE PERIODICIDADES DE SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA

Este artigo apresenta um estudo sobre as tendências das séries de precipitações na ZC-Sul/PB, haja vista as divergências das informações conclusivas existentes na literatura. O objetivo do artigo é verificar se há tendências e periodicidades estatisticamente significativas nas séries temporais de totais anuais precipitados dos postos estudados, conforme fluxograma da Figura 5.1.

Trata-se do artigo 4, com o mesmo título do capítulo, correspondente à fase 5, que será submetido a um periódico da área de hidroclimatologia para publicação.

Figura 5. 1 – Fluxograma e fase de análise de tendências das séries pluviométricas



ANÁLISES DE TENDÊNCIAS E DE PERIODICIDADES DE SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA

TREND AND PERIODICITY ANALYSIS OF PLUVIOMETRIC SERIES IN THE SOUTH COASTAL ZONE OF THE STATE OF PARAIBA

Resumo – Na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), ocorrem os maiores índices pluviométricos do estado. As bacias hidrográficas na região apresentam rios perenes e, por conseguinte, há diversas captações de água para usos diversos. Ademais, há preocupação com a vulnerabilidade ambiental, referida à perda de solos, decorrente do uso e ocupação. A existência de informações divergentes acerca das tendências de séries de precipitações na região, anuais e das quadras chuvosas (QC), motivou a elaboração deste trabalho relativo a uma investigação sobre a existência de tendências. Foram realizadas verificações sobre a aleatoriedade dos valores das precipitações componentes das séries pluviométricas, o que poderia indicar oscilações e tendências. Foram utilizados os métodos não paramétricos de Mann-Kendall, para verificar se há tendências positivas e negativas das séries pluviométricas, e o teste de frequência de fases de Wallis e Moore, buscando examinar se a sequência dos elementos da série é aleatória, considerando o nível de significância de 5%. Os resultados não revelaram haver tendências estatisticamente significativas nas séries temporais de precipitação dos postos estudados. Similarmente, o exame dos arranjos dos valores das séries indicou aleatoriedade nas séries de precipitação, do que se presume não haver tendências ou periodicidades.

Palavras-chave: séries temporais de precipitação, mudanças climáticas, análises de tendências

Abstract – The highest rainfall indexes in the state of Paraíba occur in the Southern Coastal Zone (ZC-Sul/PB). In the watersheds of the region several perennial rivers occur and there are several abstractions of water for diversified uses. Furthermore, there is the concern with environmental vulnerability, referring to soil loss, arises mainly from use and occupation. The existence of divergent information about the rainfall series trends in the region, annual and rainy season (QC), led to the elaboration of this work concerning an investigation in the ZC-

Sul/PB about the existence of trends. Thus, checks are made on the randomness of rainfall values component of rainfall series, which could indicate oscillations, as well as trends. The Mann-Kendall nonparametric method was used to check for the existence of positive and negative rainfall trends and the Wallis and Moore phase frequency test to examine whether the sequence of the series elements is random, taking into account the significance level of 5%. The results did not reveal statistically significant trends in the rainfall series of the studied stations. Similarly, examination of the arrangement of the series values indicated randomness in the precipitation series, and it is assumed that there are no trends or periodicities.

Keywords: precipitation time series, climate change, Mann-Kendall, trend analysis.

5.1 – INTRODUÇÃO

As chuvas são as responsáveis pela manutenção dos ecossistemas e são as provedoras de recursos hídricos para diversas atividades humanas, com destaque para o abastecimento d'água para a população das cidades e do campo. Nesse contexto, deve ser destacada a erosão, com potencial de impacto negativo nos recursos hídricos, de origem natural e associado à desagregação das porções mais superficiais do solo a partir da ação de agentes exógenos diversos, sendo a chuva um dos principais desses agentes (PAVANI, 2018).

Os modelos quantitativos para avaliação da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas (MONTAÑO & SOUZA, 2016; GASQUE et al., 2018) e da vulnerabilidade ambiental referida à perda de solos, levam em conta, via de regra, as condições e análises relativas às características físicas como geologia, geomorfologia, climatologia, vegetação, tipos de solos, e seu uso e ocupação (ROSS, 1994; CREPANI et al., 2001). É evidente que os temas uso e ocupação do solo e climatologia são os únicos passíveis de mudanças ao longo do tempo, um pelo acelerado processo de ocupação do território que tem ocorrido, principalmente nas áreas costeiras, outro pelas possíveis mudanças do clima.

As mudanças de tendência no clima referem-se ao tópico mais importante nas pesquisas climáticas das últimas décadas e representam ainda um dos principais desafios da atualidade. O aquecimento global e as consequentes mudanças na precipitação anual têm atraído a atenção de pesquisadores em

diferentes regiões do mundo (SILVA et al., 2015). Mudanças nas séries de precipitação anual foram identificadas em muitos estudos conduzidos em escala local, regional e global (GOCIC e TRAJKOVIC, 2013; HANLAOUI-MOULAI, MOHAMMED MESBAH e LESS, 2013; SILVA et al., 2015).

Segundo o estudo Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016), em relação à costa leste do Nordeste brasileiro e suas cidades, há convivência com eventos extremos desde o início da civilização. O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva, e os riscos de movimentos de massa, enchentes e enxurradas nas cidades costeiras brasileiras e seu entorno, implicam em demandas relativas a investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas, com foco na redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos climáticos extremos.

Na zona rural e em ambientes frágeis, como os característicos da zona costeira, o aumento da frequência de chuvas intensas pode implicar em danos ao ambiente, na medida em que seria potencial provocador de alterações no solo, como a evolução de processos erosivos e o consequente aumento da perda de solos férteis, assoreamento das coleções d'água e alterações nos ecossistemas aquáticos.

Evidentemente, quanto maior a precipitação pluviométrica em um menor número de dias, maior será a intensidade pluviométrica e consequentemente maior será a vulnerabilidade à perda de solos, e o inverso indica mais estabilidade. Por outro lado, a disponibilidade hídrica nos cursos d'água e nos reservatórios fluviais se torna mais robusta na medida em que as chuvas se distribuem mais ao longo do ano.

Quanto às mudanças relativas às chuvas não parece haver unanimidade entre os pesquisadores sobre a situação na zona costeira entre os estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, haja vista as conclusões nem sempre concordantes.

Pereira (2014), estudando as precipitações anuais no período chuvoso, concluiu que as tendências positivas no litoral do Nordeste brasileiro, entre os Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, não são estatisticamente significativas pelo teste de Mann-Kendall.

Na pesquisa efetuada por Salviano, Groppo e Pellegrino, (2016), as séries de precipitação não apresentaram tendências significativas em mais de 70% do território brasileiro em todos os meses; com tendências não significativas variando entre 72% e 95% nos meses de março e fevereiro, respectivamente. Ademais, nas análises desses autores, as tendências mensais de precipitação em áreas costeiras do estado da Paraíba resultaram em ausência de tendência significativa.

Em sentido contrário, a pesquisa efetuada por Limeira, Sousa, et al., (2012) concluiu haver tendências positivas das séries de precipitações anuais na microrregião do Litoral Sul paraibano. Os autores fizeram ainda prognósticos de maiores precipitações para os anos de 2050 e 2100 em 9,4% e 19,9% respectivamente, em relação à média dos valores das séries por eles estudadas.

Nos estudos efetuados por Medeiros, Francisco, et al., (2015), sobre os 223 municípios do estado da Paraíba, foi apontado nos seus resultados que houve tendências de redução dos índices pluviométricos, mesmo com oscilações das precipitações ao longo da série amostral, que compreendeu de 52 a 102 anos de dados observados. Foram também observadas anomalias negativas nos postos representativos do litoral paraibano. Os estudos também apontaram que o litoral paraibano é o setor onde ocorrem os maiores índices pluviométricos do Estado e que durante todos os meses do ano os totais pluviométricos mais elevados ocorrem no litoral Sul da Paraíba.

No estudo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2016) são relatados resultados de downscaling de modelos globais que projetam acumulados anuais de chuva bem abaixo da média do clima presente nas cidades costeiras de Recife, João Pessoa e Natal. Ademais, as chuvas intensas representadas apresentam pequena tendência de aumento nessas cidades.

Para se considerar os estudos de vulnerabilidade ambiental e de disponibilidade hídrica na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), como dependentes apenas da ocorrência de mudanças do uso e ocupação do solo e de obras hidráulicas nas bacias hidrográficas, deve-se assegurar a inexistência de tendências das séries de precipitações anuais da região, apesar dos resultados nesse sentido apontados por Pereira (2014) e por Salviano, Groppo e Pellegrino, (2016).

A metodologia de Crepani et al., (2001), para a avaliação da vulnerabilidade à perda de solos, tem sido adotada por diversos pesquisadores da zona costeira

(NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009; GOMES, 2013; MACHADO, LOSS, et al., 2017; COSTA, 2018) por motivos diversos, entre eles a facilidade de aplicação e praticidade com o uso de geotecnologias. Nessa metodologia, a duração do período chuvoso permite a quantificação empírica do grau de risco à erosão a que está submetida uma unidade de paisagem. Assim, também foram consideradas para avaliação neste trabalho as séries temporais correspondentes às chuvas ocorrentes nas quadras chuvosas (QC), que correspondem aos meses de abril, maio, junho e julho.

A ZC-Sul/PB foi a área objeto deste estudo, que teve sua delimitação realizada por Malzac e Cabral da Silva (2019), compreendendo diversos critérios, tendo sido considerado o geográfico como o mais adequado (Figura 5.2).

Este trabalho tem como objetivo relatar uma investigação sobre as tendências significativas de séries pluviométricas de totais anuais e das médias das Quadras Chuvosas em cinco postos pluviométricos de municípios da ZC-Sul/PB. Para isso, foram feitos testes não paramétricos de avaliação de tendências, devido a Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e o teste de frequência de fases de Wallis e Moore (1941), que busca verificar a aleatoriedade da sequência dos elementos da série e a decorrente ausência de tendências e periodicidade.

5.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 – Caracterização da área de estudo

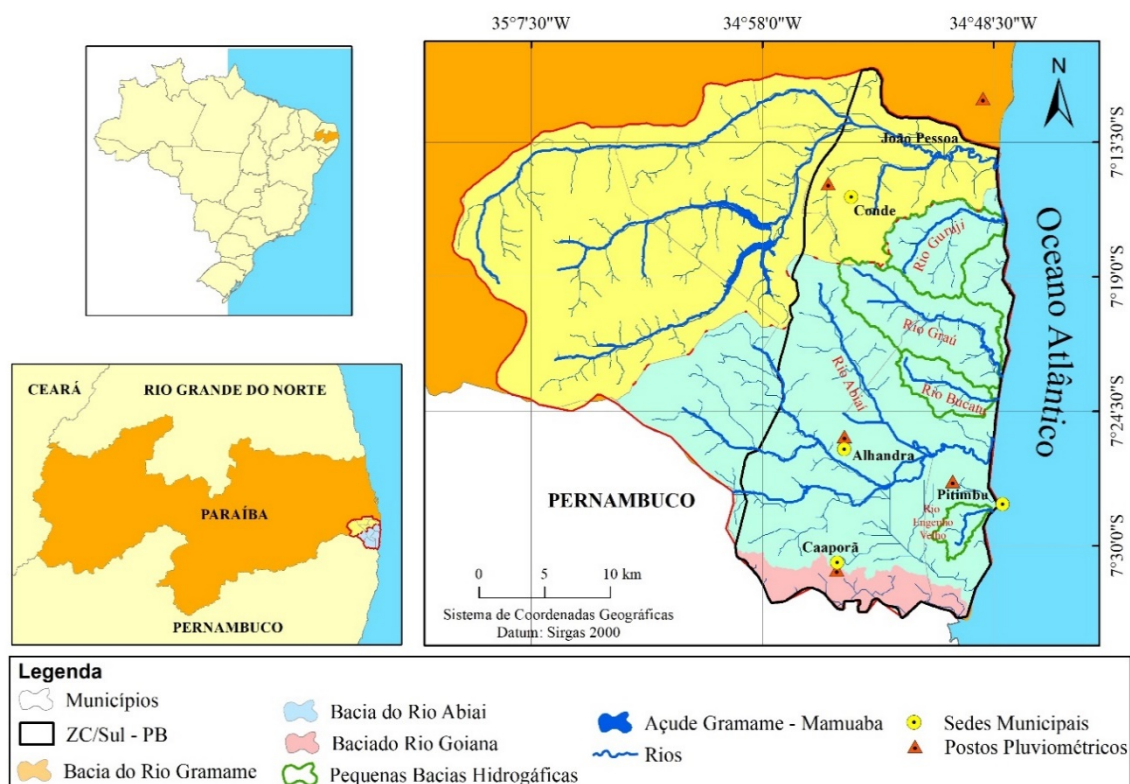
A área de estudo está situada na região geográfica Intermediária de João Pessoa, na região Imediata de João Pessoa, segundo a classificação do IBGE (IBGE, 2017), no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil (Fig. 5.2). A área corresponde a uma parte da área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (CERH, 2003), que por sua vez é composta pelas bacias hidrográficas litorâneas dos rios Gramame, Abiaí e parte do rio Goiana, entre outras de menor porte de rios que afluem ao Oceano Atlântico, tais como as dos riachos Gurugi, Graú, Bucatu e Engenho Velho.

Os municípios totalmente inseridos nas áreas das bacias hidrográficas litorâneas Sul são: Alhandra, Caaporã, Conde, Pitimbu, e Pedras de Fogo. E os

que são parcialmente inseridos são os municípios de João Pessoa, Santa Rita, Cruz do Espírito Santo e São Miguel de Taipu.

A ZC-Sul/PB localiza-se entre as latitudes 07° 11' e 07° 50' Sul, e longitude 34° 59' e 35° 53' Oeste. A sua área corresponde a 599,87 km², compreendendo cinco municípios, sendo Caaporã e Pitimbu em sua totalidade e os municípios de Conde e Alhandra em sua maior parte, além de pequena parcela do município de João Pessoa compreendendo apenas os bairros de Gramame e Muçumago.

Figura 5. 2 – Área de localização da ZC-Sul/PB e postos pluviométricos



Na região litorânea são bem definidas duas estações climáticas. A estação quente, que permanece por 4 meses, de 22 de dezembro a 21 de abril, com temperaturas máximas médias diárias acima de 31 °C; o dia mais quente do ano ocorre no mês de março, tendo atingido valores de até 33,7 °C; a mínima média é de 26 °C. A estação fresca ou amena permanece por 2,8 meses, de 18 de junho a 12 de setembro, com temperaturas máximas diárias médias abaixo de 29 °C. O dia mais ameno do ano ocorre entre o final de julho e início de agosto, com uma temperatura mínima média de 23 °C, e uma temperatura máxima média de 28 °C (WEATHERSPARK, 2018; INMET, 2019).

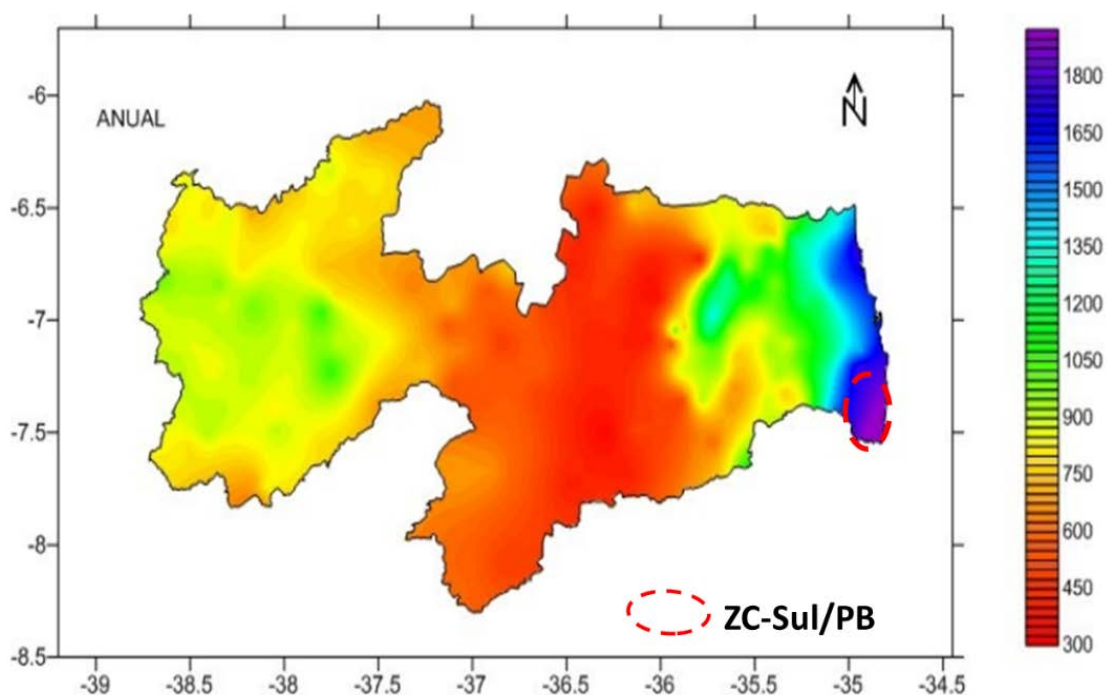
A ZC-Sul/PB apresenta precipitações médias anuais que varia entre 1.500 e 1.900 mm, sendo os meses de abril, maio, junho e julho os mais chuvosos.

A classificação climática de Köppen refere-se a tropical chuvoso, tipos Aw e Am (MEDEIROS, FRANCISCO, et al., 2015). No cartograma de pluviosidade média anual, mostrado na Fig. 5.3, pode ser observado o alto gradiente pluviométrico no sentido Leste – Oeste e os maiores valores de pluviometria média anual do estado na ZC-Sul/PB. Por outro lado, no sentido Norte-Sul as variações são discretas.

As elevações do terreno variam de 5 metros na planície costeira a aproximadamente 40 metros no tabuleiro costeiro (CABRAL DA SILVA et al., 2008).

A vegetação nativa da ZC-Sul/PB é a Mata Atlântica, em aproximadamente 20% do seu território. Essa vegetação natural tem sido substituída pela cultura da cana de açúcar, culturas diversas (abacaxi, macaxeira, inhame, bambu) e pela urbanização.

Figura 5. 3 –Pluviosidade média anual no estado da Paraíba, com destaque para a ZC-Sul/PB.
Fonte: Adaptado de Francisco e Santos, (2017)



5.2.2 – Os testes de tendência e de periodicidade das séries de precipitações

Os testes detalhados a seguir foram aplicados aos valores de totais pluviométricos anuais e das médias da quadra chuvosa.

- **O teste de Mann-Kendall (MK)**

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) tem sido utilizado por diversos pesquisadores para avaliação da significância de tendências de séries hidrometeorológicas sequencial (LIMEIRA, SOUSA, et al., 2012; SILVA, SANTOS, et al., 2015; SALVIANO, GROPPPO e PELLEGRINO, 2016). Esse teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Em outras palavras, consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial (LIMEIRA, SOUSA, et al., 2012). É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado.

Salviano *et al.* (2016) descrevem que o método se baseia em rejeitar ou não a hipótese nula H_0 , de que não existe tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância (α). O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de se cometer o erro de rejeitar H_0 quando esta for verdadeira.

A variável estatística S , para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall (MK) é calculada a partir da somatória dos sinais (sgn) da diferença, par a par, de todos os valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j), expressa nas Equações 1 e 2.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

Onde:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases}$$

Quando $n \geq 10$, a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal, na qual a sua variância, $Var(S)$, pode ser obtida através da Equação 2 na qual t_i representa a quantidade de repetições de uma extensão i (Por exemplo, uma série histórica com três valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou $t_i = 1$ e $i = 3$).

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i)(i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2)$$

O índice Z_{MK} segue a distribuição normal, na qual a sua média é igual a zero, valores positivos indicam uma tendência crescente e negativos tendências decrescentes. De acordo com o sinal de S , o índice Z_{MK} da distribuição normal é calculado a partir da Equação 3:

$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S > 0 \\ Z_{MK} &= 0; \text{ para } S = 0 \\ Z_{MK} &= \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{ para } S < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Por se tratar de um teste bi-caudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Por exemplo, para $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$ e, portanto, será considerada que a série tenha uma tendência significativa ao nível de 5% caso $Z_{MK} > 1,96$.

- **O teste de fases de Wallis e Moore (WM)**

O teste de fases WM examina a sequência aleatória dos valores na ordem cronológica. Quando o arranjo dos dados não é aleatório, podem existir tendências ou oscilações (KOCH & RÊGO, 1986).

Uma fase é definida por uma sequência de sinais iguais da série (pelo menos um sinal) das diferenças entre valores consecutivos:

Valores: $x_1, \quad x_2, \quad x_3, \quad x_4, \quad x_5, \quad x_6 \dots$
Diferenças: $(x_2 - x_1), (x_3 - x_2), (x_4 - x_3), (x_5 - x_4), (x_6 - x_5), (x_7 - x_6)$

└──────────┘ └──────────┘

Sinais:	+	-	-	+	-	-
Fases:		1		2		3

O número de fases é usado para calcular a variável de teste, sendo negligenciadas a primeira e a última fase.

Uma interpretação do número de fases mostra que um número pequeno de fases significa uma mudança contínua dos valores (Ex. oscilação com frequência pequena ou tendência), enquanto um número muito grande de fases significa influências com frequência grande (oscilação de grande frequência). Uma série aleatória estará entre esses estados extremos.

A hipótese nula H_0 é definida como: o arranjo dos valores dentro da série investigada é aleatório, ou, detalhadamente, os sinais das diferenças dos valores consecutivos são arranjados aleatoriamente.

Esquema de Teste WM:

Definir o número de fases

Calcular o valor da variável de teste z (Equações 4 e 5)

$$\text{Para } N \geq 30: \quad z = \frac{\left| H - \frac{2N-7}{3} \right|}{\sqrt{\frac{16N-29}{90}}} \quad (4)$$

$$\text{Para } 10 < N < 30: \quad z = \frac{\left| H - \frac{2N-7}{3} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{16N-29}{90}}} \quad (5)$$

Onde:

H é o número de fases; N é o número de dados da série.

Escolher o nível de confiança $S = 1 - \alpha$

Definir z_α (a variável padronizada de distribuição normal, tabelada).

Decisão:

$z \geq z_\alpha$: H_0 rejeitada

$z < z_\alpha$: H_0 não rejeitada

5.2.3 – As séries de dados pluviométricos utilizadas

Os dados de pluviometria mensais foram obtidos da Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). As estações pluviométricas selecionadas seguiram o critério de que a série temporal deveria ser longa, com comprimento superior a 50 anos.

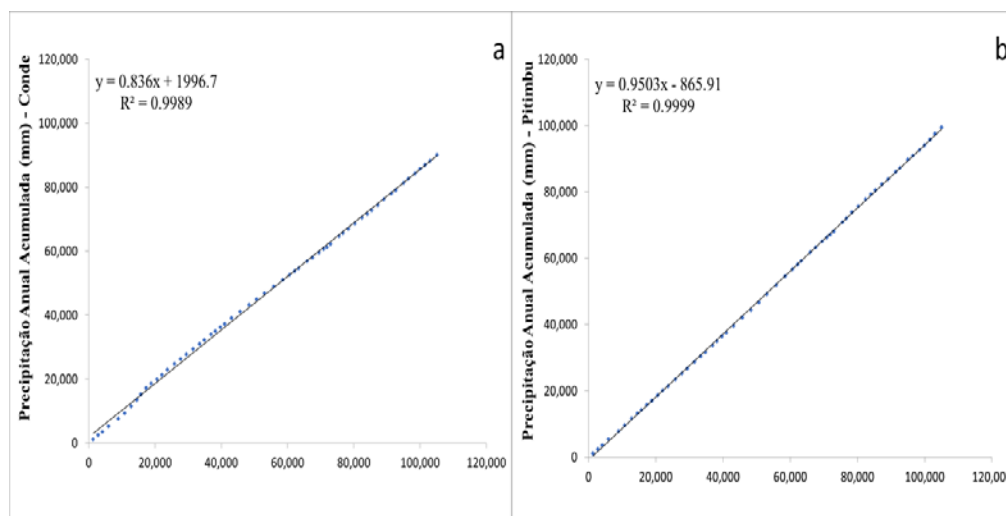
Todas as séries, após o preenchimento das falhas, referem-se aos dados relativos aos anos entre 1960 e 2017, compreendendo, portanto, séries de 58 anos de comprimento, sendo um posto para cada um dos municípios integrantes da ZC/Sul/PB.

As falhas de dados mensais nas séries foram preenchidas através dos métodos de Ponderação Regional e técnicas de Regressão Linear. Para cada falha detectada em determinada estação pluviométrica, procurou-se no conjunto de estações disponíveis da AESA, três localizadas o mais próximo possível daquela a ser preenchida, para possibilitar a aplicação dos métodos.

5.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de consistência dos dados pluviométricos utilizados está sintetizada nos gráficos de Dupla Massa, onde pode ser visto que coeficientes de determinação R^2 variaram de 0,9988, da estação do Conde a 0,9999, e de Pitimbu (Figura 5.4 a e b).

Figura 5. 4 – Curvas das duplas massas para verificação da consistência das séries históricas: Conde (a) e Pitimbu (b)



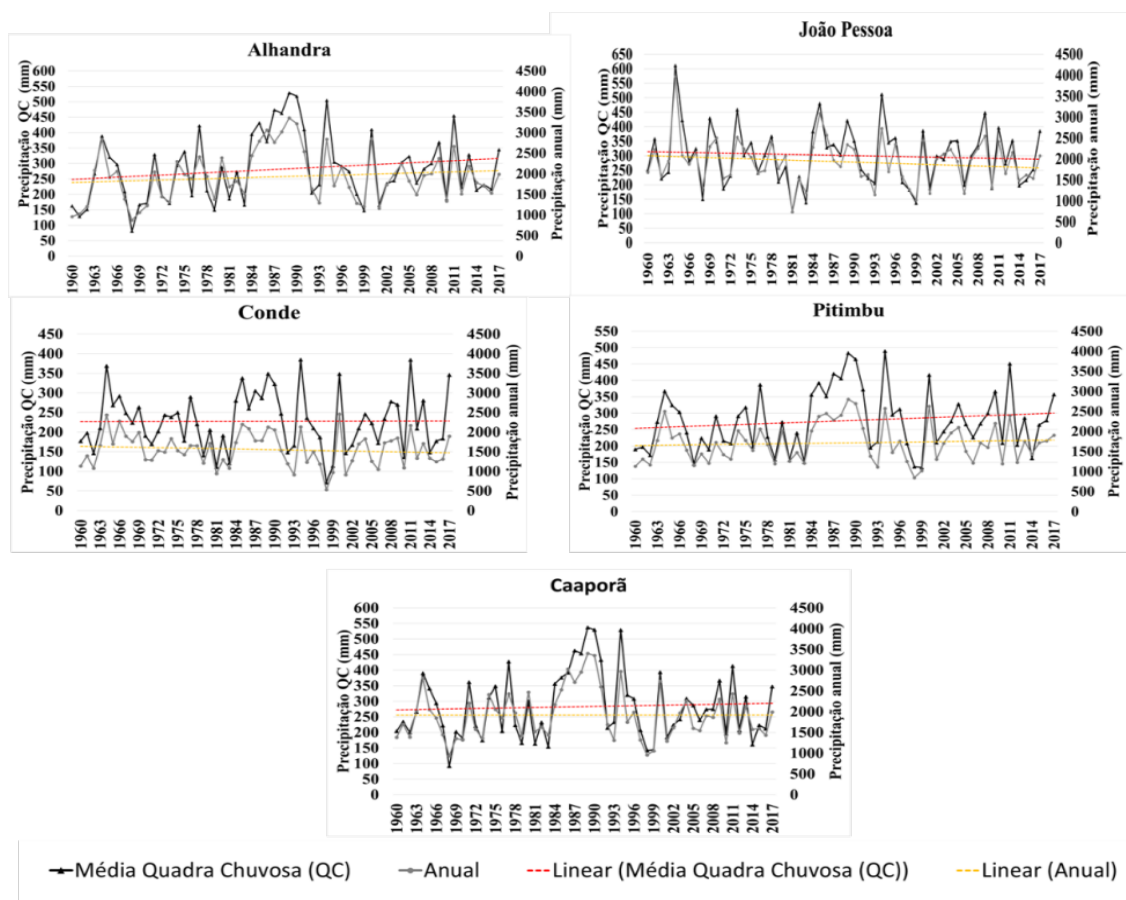
As séries das precipitações anuais, dos valores da média da QC e das linhas de tendência estão mostradas na Figura 5.5. Os cinco postos dos municípios integrantes da ZC-Sul/PB, mostrados na Figura 5.1 e as suas características referentes à localização, precipitações médias anuais, elevação e distância ao Oceano Atlântico (OA) constam no Tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Características dos postos pluviométricos utilizados

Posto	Latitude (S)	Longitude (E)	Precipitações médias anuais (mm)	Elevação (m)	Distância ao OA (km)
João Pessoa	-7,20	-34,82	1.922,9	29	2,33
Alhandra	-7,43	-34,91	1.932,0	46	11,39
Conde	-7,25	-34,93	1.618,8	62	12,93
Pitimbu	-7,46	-34,84	1.846,4	12	2,94
Caaporã	-7,52	-34,92	1.883,9	67	19,98

A Figura 5.5 se refere às séries referentes aos totais pluviométricos anuais e dos valores médios da QC no período estudado.

Figura 5. 5 – Séries de valores pluviométricos anuais e das médias da QC



Pode ser observado na Figura 5.5 que há tendências positivas de crescimento nas séries pluviométricas dos postos localizados mais ao sul da ZC-Sul/PB, quais sejam, Alhandra, Caaporã e Pitimbu, enquanto que para as outras dos postos ao Norte, do Conde e João Pessoa, houve tendências negativas.

Os resultados das análises de tendências, relativos às séries de precipitações anuais e das médias da QC observadas nos postos pluviométricos considerados, foram analisados adotando-se o nível de significância $\alpha = 0,05$.

No Tabela 5.2 são exibidos os resultados das estatísticas do teste MK para as séries de precipitações anuais e da QC sendo o valor de VarS igual a 2,22E+04 para todas as séries. A análise da Tabela 5.2 deixa claro que todas as tendências não são consideradas estatisticamente significativas.

Tabela 5. 2 - Estatísticas do teste MK para as séries de precipitações

Posto	Séries anuais		Quadra Chuvosa	
	S	Z _{MK}	S	Z _{MK}
João Pessoa	-0,48297	0,6291	-7,30e+01	0,48297
Conde	-0,32198	0,7475	-4,90e+1	0,32198
Alhandra	1,2343	0,2171	1,85e+02	1,2343
Caaporã	0,46956	0,6387	7,10e+01	0,46956
Pitimbu	0,10733	0,9145	1,70e+01	0,10733

As estatísticas resultantes da aplicação do teste de frequências de fases de WM são mostradas na Tabela 5.3 para as séries de totais anuais e das médias da QC. Conforme pode ser interpretado, o total de fases H resultaram em valores de cerca de 64% do comprimento das séries, o que pode ser considerado um número grande de fases e oscilações. Os valores das variáveis z indicaram que a hipótese H0 não deve ser rejeitada, o que indica ausência de tendências e oscilações ao nível de significância de 5%.

Tabela 5. 3 – Estatísticas do teste WM para as séries de precipitações

Posto	Séries anuais		Quadra Chuvosa	
	H	z	H	z
João Pessoa	38	0,527	40	0,844
Alhandra	35	0,422	34	1,371
Conde	36	0,105	37	0,422
Caaporã	39	0,844	35	1,055
Pitimbu	37	0,211	36	0,413

5.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Zona Costeira Sul do estado da Paraíba apresenta os maiores valores de precipitação média anual no estado, o que leva a se esperar maior potencial de erosividade dos solos decorrente das chuvas e maiores disponibilidades hídricas nas bacias hidrográficas.

Essa região se caracteriza pelo alto gradiente pluviométrico negativo no sentido Leste-Oeste. Por outro lado, no sentido Norte-Sul as variações são discretas, porém com valores ainda maiores ao Sul. Foi possível observar que as tendências negativas das séries são verificadas ao Norte da ZC-Sul/PB, onde ocorrem valores menores de totais anuais de precipitação.

A aplicação do teste de Mann-Kendall às series pluviométricas anuais e das médias da quadra chuvosa de 58 anos dos municípios da Zona Costeira Sul do estado da Paraíba não indicaram haver tendências estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

De forma semelhante, o exame dos arranjos dos valores das séries devido a aplicação do teste de fases de Wallis e Moore indicou aleatoriedade na sequência dos valores de precipitação anuais e das médias da quadra chuvosa, inferindo-se que não há tendências ou periodicidades ao nível de significância de 5%.

Os resultados das aplicações realizadas com os dois testes de verificação de tendências de séries temporais de precipitações apontaram concordância com os trabalhos de Salviano et al., (2016) e Pereira (2014).

Os resultados alcançados indicaram a possibilidade da aplicação de metodologias de avaliação ambiental para cenários futuros sem a necessidade de levar em conta variações temporais dos índices pluviométricos. De forma semelhante, estudos de avaliação da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas da região também podem ser realizados sem a preocupação de se considerar mudanças significativas decorrentes de tendências das séries pluviométricas.

5.5 – REFERÊNCIAS

- CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13 - Nº 2, p. 144-152, abr/jun 2008.
- CERH. **Resolução Nº 03, de 05 de novembro de 2003 – Áreas de atuação dos Comitês, Paraíba, PB.** 2003.
- COSTA, F. R. D. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN).** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA. Natal - RN, p. 244. 2018.
- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: MCT/INPE, 2001.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Climatologia do Estado da Paraíba.** Campina Grande-PB: EDUEFG, v. 1ª Edição, 2017. 75 p. ISBN 978-85-0001-197-5.
- GOCIC, M.; SLAVISA, TRAJKOVIC. Analysis of changes in meteorological variables using Mann–Kendall and sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Glob Planet Change**, v. 100, p. 172–182, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- GOMES, R. L. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 41-53, set.-dez 2013. ISSN 2176-4786. doi: 10.4025/bolgeogr.v31i3.18650.
- HAMLAOUI-MOULAI, L.; MOHAMMED MESBAH, D. S.-G.; LESS, A. M. Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria. **Natural Hazards**, v. 3, n. 65, p. 1293–1311, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0411-2>
- IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias.** Rio de Janeiro: Coordenação de Geografia, 2017. ISBN 978-85-240-4418-2.
- INMET, I. N. D. M. **Normal climatológica de 1981-2010.** 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso em Junho de 2019.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods.** Griffin, London: 1975.
- KOCH, U.; RÊGO, J. C. Aplicação de testes não-paramétricos para verificar a homogeneidade de séries hidrometeorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia**, Porto Alegre, 3, n.1, 1985. 47-76.
- LIMEIRA, R. C. et al. Tendência das chuvas no Estado da Paraíba (Tendency of the rains in Paraíba State in Brazil). **Revista Hispeci & Lema On Line**, Bebedouro-SP, v. ano III – n.3, nov 2012. ISSN 1980-2536. unifafibe.com.br/hispecielemaonline — Centro Universitário UNIFAFIBE.

MACHADO, L. N. et al. Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. **Scientia Agropecuaria versión impresa**, Trujillo, vol.8 no.2, abr./jun 2017. www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172017000200008.

MALZAC, M. E.; CABRAL DA SILVA, T. Delimitações da zona costeira Sul do estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 19(2), p. 123-141, 2019. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n260_Malzac.pdf.

MANN, H. B. **Nonparametric tests against trend**. *Econometrica*. v. 13, 1945. 245-259 p.

MEDEIROS, R. M. D. et al. **Diagnósticos das Flutuações Pluviométricas no Estado da Paraíba** *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2015. p. 1017-1027. Homepage: www.ufpe.br/rbgfe.

MONTAÑO, M., & SOUZA, M. P. (2016). Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21(3), 489-495. Epub June 27, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016118729>.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. volume 39, p. 3, 2009. <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7686>.

PAVANI, B. F. **Pagamentos por serviços ecossistêmicos: proteção de recursos hídricos por Unidades de Conservação ambiental no Brasil**. São José dos Campos: 2018. 247f, Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica.

PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, p. 184. 2016. (ISBN: 978-85-285-0345-6). Autores: Marengo, Jose A.; Scarano, Fabio R.; Klein, Antonio F.; Souza, Celia R. G.; Chou., Sin C.

PEREIRA, E. R. R. **Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no Nordeste do Brasil**. Campina Grande/PB: Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - 100 f.: il. color., 2014.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786>.

SILVA, R. M. D. et al. Rainfall and river flow trends using Mann–Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. **Nat Hazards**, v. 75, 2015. ISSN 0921-030X. DOI 10.1007/s11069-015-1644-7.

WALLIS, W. A.; MOORE, G. H. A Significance test for time series analysis. **Journal American Statistic Association**, n. 36, p. 401 - 409, 1941.

WEATHERSPARK. **Site** (<https://pt.weatherspark.com/y/31438/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Jo%C3%A3o-Pessoa-Brasil-durante-o-ano>) site visitado em 26/1/2018, as 10:00h. [S.l.]: [s.n.]. 2018.
<https://pt.weatherspark.com/y/31436/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pitimbu-Brasil-durante-o-ano>.

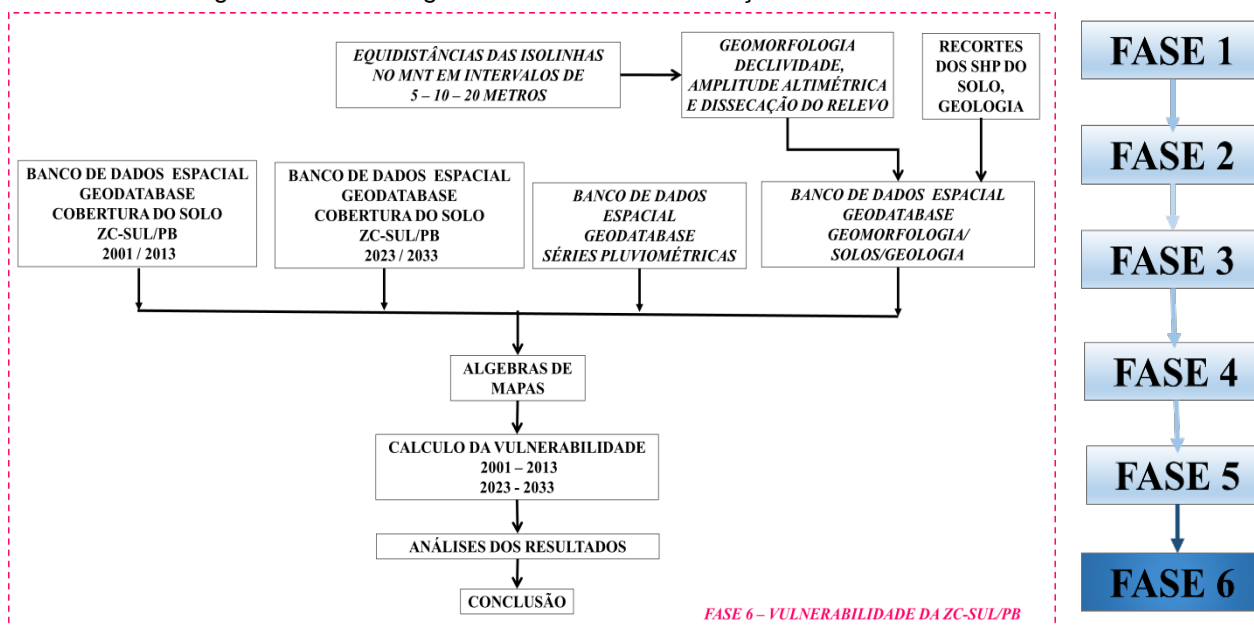
Capítulo 6 - EVOLUÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA DE SOLOS NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA

Nesse capítulo é apresentada a evolução da vulnerabilidade ambiental à perda de solos na Zona costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), por meio de cartogramas e gráficos de evolução, considerando os cenários pretéritos nos anos de 2001 e 2013 e os preditivos de 2023 e 2033. Foram determinados os graus de vulnerabilidade relativos às mudanças das categorias morfodinâmicas pedogenéticas/morfogenéticas, com base em uma escala de avaliação da estabilidade. A Figura 6.1 apresenta o fluxograma para a determinação da vulnerabilidade.

Dos resultados, pôde ser inferida uma clara repercussão das mudanças do uso do solo, com o decrescimento de áreas florestadas, e no aumento dos níveis de vulnerabilidade na ZC-Sul/PB. O cenário para o ano de 2033 aponta uma mudança para a situação de categoria instável, prevalecendo à morfogênese.

O capítulo corresponde ao artigo 5, com mesmo título, a ser submetido a revista científica da temática ambiental.

Figura 6. 1 -- Fluxograma e fase de determinação da vulnerabilidade



EVOLUÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL Á PERDA DE SOLOS NA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA

EVOLUTION OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN THE SOUTH COASTAL AREA OF THE PARAÍBA STATE

Resumo - A evolução da ocupação do espaço geográfico costeiro brasileiro tem se constituído em uma importante questão a ser enfrentada pelos planejadores ambientais, na medida em que há necessidade de compatibilização entre as atividades antrópicas e a capacidade de suporte da terra. Assim, foram delineados os objetivos a serem seguidos da pesquisa, referentes à busca pela minimização dos impactos antrópicos nos diversos ecossistemas costeiros. Nesse sentido, o conhecimento da vulnerabilidade ambiental deve ser estendido ao longo do tempo, analisando-se as tendências espaciais de crescimento, visando o adequado estabelecimento de políticas de zoneamento ambiental. Foram elaborados cartogramas, com graus de vulnerabilidade ambiental à perda de solos, destinados à avaliação da estabilidade relativa às categorias morfodinâmicas do solo na zona costeira Sul do estado da Paraíba. Foram considerados os cenários pretéritos nos anos de 2001 e 2013 e os preditivos de 2023 e 2033. Utilizou-se um modelo de avaliação de vulnerabilidade ambiental com uso de parâmetros espacializados relativos às características dos meios físico e antrópico. A categoria morfodinâmica intermediária prevaleceu em equilíbrio pedogenético/morfogenético no ano de 2001, com grau Medianamente Estável/Vulnerável, com frequência de 56,83%. A evolução para o cenário relativo ao ano de 2033, somando 53,22%, com graus Moderadamente Vulnerável e Vulnerável, indicou propensão majoritária à perda de solos, tendo sido constatada mudança para a situação de categoria instável, prevalecendo a morfogênese. Palavras chave – uso do solo, propensão dos solos à erosão, cenários ambientais

Abstract – The evolution of the occupation of the Brazilian coastal geographic space has been a challenge to be faced by environmental planners, since there is an urgent need to reconcile anthropic activities with the earth support capacity. Thus, the research objectives are outlined to be followed regarding the search for the minimization of the anthropic impacts in the diverse coastal ecosystems. In this

sense, the knowledge of environmental vulnerability must be extended over time, analyzing the spatial trends of growth, aiming at the proper establishment of environmental zoning policies. In this work, cartograms with degrees of environmental vulnerability were done to evaluate the relative stability of the morphodynamic categories in the southern coastal zone of the state of Paraíba. The previous scenarios are considered in the years 2001 and 2013 and the predictions are referred to 2023 and 2033. An environmental vulnerability assessment model was used with the use of spatial parameters related to physical and anthropic characteristics. The intermediate morphodynamic category prevailed in pedogenetic / morphogenetic balance in 2001, with a Moderate Stable / Vulnerable degree, with a frequency of 56.83%. The evolution for the scenario in the year 2033 resulted in a change to the situation of unstable category, with morphogenesis prevailing, adding up to 53.22%, with Moderately Vulnerable and Vulnerable degrees, indicating a majority tendency to soil loss.

Key words - soil use, soil propensity to erosion, environmental scenarios

6.1 – INTRODUÇÃO

Seguindo a tendência mundial das populações em ocupar predominantemente áreas próximas ao litoral, o Brasil apresenta 26,6% da população em municípios da zona costeira (ZC), o equivalente a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2011). Evidentemente, os fatores históricos relacionados à exploração do Pau Brasil e, posteriormente, ao cultivo de cana de açúcar, com o desflorestamento da Mata Atlântica, contribuíram para a construção das primeiras cidades e o plantio de outras culturas. Na região do Nordeste brasileiro esse processo foi mais intenso, resultando na presença prevalente da cultura da cana de açúcar para o processamento nos engenhos, atividade iniciada ainda nos tempos do Brasil Colônia.

Na década de 1970, iniciou-se uma grande expansão da indústria sucroalcooleira, decorrente do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado em 1975, que traduzia uma política derivada da crise do petróleo iniciada nos primeiros anos dessa década. O objetivo principal do Proálcool era substituir o uso da gasolina pelo álcool na frota de veículos automotivos no Brasil (CORTEZ, CRUZ, *et al.*, 2016).

Uma das consequências dessa política no uso do solo nas áreas litorâneas do Nordeste foi refletida em grandes perdas de vegetação de Mata Atlântica e de seus ecossistemas relacionados (SOSMA, 2019). Em consequência, diversos impactos ambientais foram induzidos nas áreas costeiras brasileiras, traduzidos em perda de biodiversidade, perda de solos, assoreamento de rios, entre outros.

No estado da Paraíba a ocupação dos espaços costeiros ao Sul foi intensificada ainda mais, principalmente após a estabilização econômica do Brasil ocorrida nos anos 1990. Desde então, diversos projetos viários, de loteamentos e de indústrias têm sido implantados, contribuindo também para a geração de desequilíbrios ambientais diversificados.

Não é desconhecido que os ambientes da zona costeira se caracterizam por sua complexidade e por sofrerem influências diversas de natureza antrópica, climática, fluvial, biológica, oceanográfica, cósmica, entre outras (CABRAL DA SILVA, MATOS DE CARVALHO, *et al.*, 2008). Uma vez que o processo de ocupação territorial da ZC pode levar à ocorrência de impactos ambientais capazes de reduzir a qualidade ambiental, deve-se refletir em como mensurar a vulnerabilidade ambiental ligada à perda de solos, compreendendo os elementos componentes diretamente associados à integridade do ambiente, como solo, clima, vegetação e geomorfologia.

É importante destacar que o solo é o único ambiente onde se encontram reunidos em associação íntima a litosfera, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera (CREPANI *et al.*, 2001). O solo desempenha funções diversas, principalmente como agente no ecossistema, meio de crescimento para as plantas, regulador do suprimento de água, reciclador de materiais, habitat para os organismos, e como base para as atividades das engenharias. A partir dele, muitos fenômenos e atividades de importância para a vida ocorrem, como a produção de biomassa e alimentos e armazenamento de água subterrânea, atuando como meio de crescimento e sustentação para as plantas e para a atividade microbiana (ROLIM NETO, ANILDO e BOA VIAGEM PARAHYBA, 2009).

Fica evidente, das profícuas propriedades e das diversas funções dos solos, que as regiões que vem sendo intensamente ocupadas na zona costeira estão sendo degradadas. Nesse sentido, os solos deveriam ser considerados como recurso natural não renovável e o seu uso deve ser alvo de toda proteção e cuidado.

Os solos, como patrimônio natural básico, têm, como consequência do seu uso indevido, a erosão e a degradação do recurso terra. A erosão também provoca impactos nos recursos hídricos, onde se manifesta através do assoreamento de cursos d'água e reservatórios, provocando maior frequência e intensidade de enchentes, perda da capacidade de armazenamento pelo assoreamento e alterações ecológicas que afetam a fauna e a flora (COUTINHO, LIMA FILHO e SOUZA NETO, 1998).

Nas ZCs, onde a ocupação humana é crescente, estudos relativos aos riscos e à vulnerabilidade do solo têm sido realizados com certa frequência, sobretudo a partir da disponibilização de imagens de satélite e do advento dos *softwares* que facilitaram a análise espacial com base em sistemas de informações geográficas.

Sobre os estudos das mudanças do uso do solo, essenciais para a avaliação da vulnerabilidade ambiental, a partir da ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e do desenvolvimento e popularização de plataformas de geoprocessamento, os modelos para prever a dinâmica da paisagem ganharam impulso nas últimas décadas (SOARES-FILHO, LIMA, et al., 2013). Trabalhos relativos à temática da modelagem dinâmica espacial das paisagens têm sido desenvolvidos na zona costeira utilizando tecnologias para geração de mapas que simulam cenários prospectivos, mostrando os fatores determinantes da mobilidade espacial das atividades antrópicas (GRICO, 2008; MOURA, 2009; FREITAS, 2010; ARCOVERDE, 2013; BESER DE DEUS, 2013; BEZERRA e CABRAL DA SILVA, 2014; KAWASHIMA *et. al.*, 2016).

De uma maneira geral, os métodos de avaliação da fragilidade ambiental ou da vulnerabilidade são baseados na adoção, adaptação e/ou modificação das propostas metodológicas de Ross (1994) e de Crepani *et. al.*, (1996, 2001), ambas fundamentadas no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

Os estudos da vulnerabilidade ambiental referidos à perda do solo, com destaque para o modelo proposto por Crepani (2001), visam avaliar em que grau os processos de perda de solo das unidades de paisagem ameaçam a relação homem-meio (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009; LIMA e AMARAL, 2013). Servem como suporte para o equacionamento do problema. Nesse caso, a metodologia para a avaliação da vulnerabilidade à perda de solo considera os fatores ambientais e antrópicos. A vulnerabilidade nas unidades de paisagem é

estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos, de acordo com a relação morfogênese/pedogênese, analisando-se individualmente cada um dos temas, baseada nos princípios da Ecodinâmica (TRICART, 1977).

A abordagem temática para os mapeamentos e modelagens visando a mensuração da vulnerabilidade natural/ambiental possui uma literatura com estudos de caso bastante vasta. Diversos autores têm trabalhado com a avaliação da vulnerabilidade nas zonas litorâneas, sempre com a utilização de metodologias integradoras que permitem a mensuração do grau de vulnerabilidade e seus impactos, fazendo uso de sistema de informações geográficas e álgebra de mapas. Nesses estudos de vulnerabilidade, são utilizadas metodologias que consideram os temas relevantes: tipo de solo, geologia, aspectos geomorfológicos, climatologia e uso do solo. As aplicações são referidas a bacias hidrográficas costeiras (OLIVEIRA, 2011; GOMES, 2013; COSTA, 2018) ou a zonas de influência costeira (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009; LIMA e AMARAL, 2013) ou ainda às áreas abrangentes de pequenas bacias hidrográficas costeiras e partes de bacias maiores (BEZERRA & CABRAL DA SILVA, 2014; PIRES, 2015; MACHADO, LOSS, et al., 2017; COSTA, 2018). Outros autores aplicaram essas metodologias em áreas costeiras de proteção ambiental (TAGLIANI, 2003; GRIGIO, 2008; GOMES, 2013; PEREIRA DA SILVA, 2013; SANTANA, 2014; SANTOS, AMARO, et al., 2015; SOUZA e VALE, 2016; SILVA e FARIAS FILHO, 2019). Também foram realizados estudos sobre vulnerabilidade costeira devido às mudanças climáticas (THIELER e HAMMAR-KLOSE, 2000; IWAMA., 2014; SANTOS, AMARO, et al., 2015), sempre relativos a um cenário pretérito bem definido.

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a evolução da vulnerabilidade ambiental à perda de solo, na Zona Costeira Sul do estado da Paraíba (ZC-Sul/PB), para cenários pretéritos, relativos aos anos de 2001 e 2013, e preditivos para os anos de 2023 e 2033. Foram utilizadas imagens de satélite *Landsat 7* e *8* para gerar os mapas de uso e ocupação do solo, e dados secundários para gerar os cartogramas obtidos com suporte dos mapas geológicos, pedológicos, climatológicos e geomorfológicos. É utilizada a metodologia de Crepani et al. (2001), para produzir os cartogramas de vulnerabilidade ambiental. Os cartogramas para os cenários preditivos foram

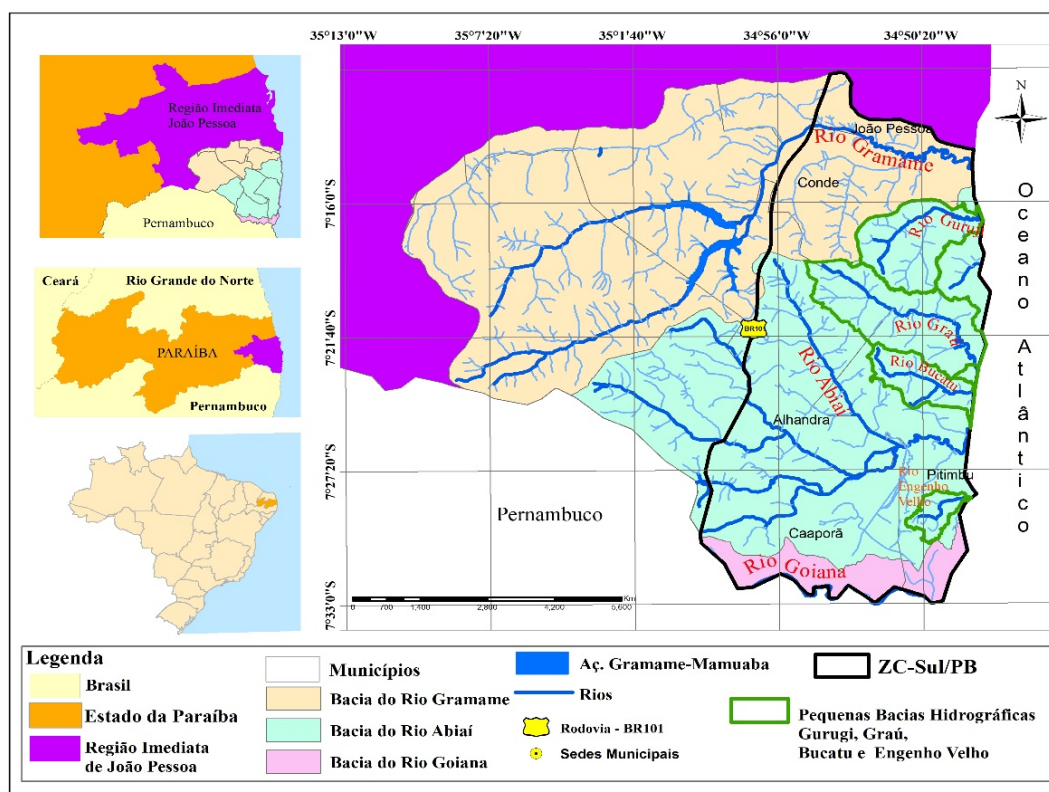
gerados a partir da modelagem dinâmica espacial do uso e ocupação do solo, sendo considerados os mapas dos demais temas como invariáveis.

6.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 – Caracterização da área de estudo

A ZC-Sul/PB localiza-se entre as latitudes 07° 11' e 07° 50' Sul, e longitude 34° 59' e 35° 53' Oeste. Sua área corresponde a 599,87 km² e está situada na região geográfica Intermediária de João Pessoa, na região Imediata de João Pessoa (IBGE, 2017), no Nordeste do Brasil (Figura 6.2). A ZC-Sul/PB corresponde a uma parte da área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (CERH, 2003), que, por sua vez, é composta pelas bacias hidrográficas litorâneas dos rios Gramame, Abiaí e parte do rio Goiana que afluem diretamente ao Oceano Atlântico, entre outros de menor porte como os riachos Gurugi, Graú, Mucatu e Engenho Velho.

Figura 6. 2 – Área de estudo na região geográfica Imediata de João Pessoa



Foi adotada a delimitação da ZC-Sul/PB feita por Malzac e Cabral da Silva (2019), que utilizaram o critério geográfico de distância fixa com os seus limites coincidindo a Oeste com a rodovia BR-101, entre os limites das bacias hidrográficas do rio Gramame, ao Norte, e do rio Goiana, ao Sul. A ZC-Sul/PB compreende cinco municípios, sendo Caaporã e Pitimbu em sua totalidade e Conde e Alhandra em sua maior parte, além de pequena parcela do município de João Pessoa compreendendo apenas os bairros de Gramame, Barra de Gramame e Muçumago.

A ZC-Sul/PB se localiza na região da unidade litoestratigráfica denominada grupo Barreiras, correspondendo ao relevo de planície flúvio-marinha, caracterizada pelas baixas declividades e altitudes, além dos tabuleiros costeiros que apresentam altitudes de até 60 metros e declividades variadas.

Os tipos de solos correspondem a Solos Gley Distróficos e Latosol nos tabuleiros litorâneos. Nas planícies flúvio-marinho encontram-se os solos Areia Quartzosas Marinhas Distróficas (Dunas), Podzol Hidromórfico, Podzólico Vermelho Amarelo, Solos Aluviais, Solos Aluviais e Solos Indiscriminados de Mangue (PARAÍBA, 2006).

Os sistemas naturais encontram-se no bioma Mata Atlântica, relativos aos seus fragmentos ainda existentes, além de suas florestas secundárias de manguezais. Na área da ZC-Sul/PB, encontra-se a Área de Proteção Ambiental Estadual de Tambaba com 114,5 km², inserida nos municípios de Conde, Alhandra e Pitimbu (Paraíba, 1991). Mais ao Sul se localiza a Reserva Extrativista Acaú-Goiana na parte estuarina do rio Goiana, nos municípios de Pitimbu e Caaporã na Paraíba e de Goiana no estado de Pernambuco, totalizando de 8,06 km² no lado paraibano e 114,20 km² no lado pernambucano, (BRASIL, 2007).

O clima é do tipo Litorâneo Úmido e, segundo a classificação climática de Köppen, corresponde a As' (FRANCISCO e SANTOS, 2017), com duas estações bem definidas, a quente e a fresca ou amena. Apresenta uma precipitação média anual variando entre 1.500 mm no limite Oeste até 1.900 mm na orla marítima em sua porção Sul.

6.2.2 – Obtenção dos dados

Os dados relativos aos temas geologia e pedologia são oriundos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2018).

Os cartogramas para o tema geomorfológico foram elaborados a partir da imagem proveniente do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, fruto de um projeto da NASA, com a missão de obter um modelo digital do terreno por sensoriamento remoto.

O cartograma relacionado ao tema climático expressa as intensidades pluviométricas médias anuais e foi elaborado com dados dos postos pluviométricos dos municípios do Conde, Alhandra, Pitimbu, Caaporã e João Pessoa, adquiridos no site do GeoPortal AESA. Compreende a série histórica de 58 anos entre os anos de 1960 a 2017. Para a predição nos anos de 2023 e 2033 seria necessário averiguar as possíveis variações das precipitações na área de estudo. Nesse sentido, considera-se que não existem tendências positivas ou negativas, conforme as conclusões dos estudos efetuados e mostrados no capítulo 5.

Os mapas de uso e a ocupação do solo foram gerados, conforme descrito no capítulo 4, através das imagens de satélite TM-Landsat 7 e 8 da órbita 214, ponto 65, obtidas do site de acesso livre do *United States Geological Survey (USGS)* para os anos de 2001 e 2013. Para os anos posteriores, de 2023 e 2033, os mesmos autores realizaram predições com base nos procedimentos de modelagem dinâmica espacial (LCM), utilizando-se o software *Idrisi TerrSet*, que envolveu a construção de redes neurais do tipo *Perceptron* multicamada (MLP), com base em similaridade ponderada.

As definições para a elaboração dos planos de informação temáticos, relativos ao meio físico, estão mostrados na Quadro 6.1.

Quadro 6. 1 - Definições para a elaboração dos planos de informação temáticos

Tema	Definições
Geologia (G)	Mapa geológico descritivo das litologias das unidades de paisagem
Geomorfologia (R)	Cartograma geomorfológico sintetizado a partir dos subtemas grau de dissecação, amplitude altimétrica e declividade
- Grau de dissecação (G)	Baseado no cálculo da amplitude de interflúvio, que é calculada como sendo o inverso da densidade de drenagem
- Amplitude altimétrica (A)	Refere-se à diferença entre as cotas máxima e mínima na sub bacia hidrográfica
- Declividade (D)	Relação entre a distância vertical e a distância horizontal entre os dois pontos calculada de forma automatizada a partir de dados de altimetria
Solos (S)	Mapa pedológico detalhado com os tipos de solo ou suas associações
Vegetação/Uso do solo (Vg)	Mapas de cobertura vegetal e uso e ocupação das unidades de paisagem, originados das imagens de satélite <i>LandSat</i>
Clima (C)	Cartograma da intensidade pluviométrica média anual obtido da divisão do valor da pluviosidade média anual (mm) pela duração do período chuvoso (em meses).

6.2.3 – Metodologia

A metodologia desenvolvida por Crepani *et al.*, (2001) utilizada para a avaliação da vulnerabilidade ambiental referida a perda de solos. Nessa metodologia as informações temáticas das unidades territoriais são baseadas nos temas do Quadro 6.1, e consideradas como variáveis essenciais representadas no espaço e no tempo.

A escala de vulnerabilidade das unidades de paisagem também foi definida por Crepani *et al.*, (2001), a partir de análise morfodinâmica, possibilitando a geração de cartogramas descritivos das vulnerabilidades associadas a cada um dos temas.

Essa metodologia permite obter uma visão sinótica e holística da paisagem por meio da integração dos temas morfodinâmicos, de forma empírica, de acordo com o estágio de evolução das unidades da paisagem.

A Vulnerabilidade Ambiental à Perda de Solo é função das variáveis descritivas das vulnerabilidades, associadas aos temas pertinentes, e pode ser escrita na forma da Equação 6.1:

$$V = f (G, R, S, Vg, C) \quad \text{Eq. (6.1)}$$

Onde:

V = vulnerabilidade ambiental à Perda de Solo;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso do solo;

C = vulnerabilidade para o tema Clima.

Deve ser admitido que a vulnerabilidade ambiental é dependente de temas descritos em função de variáveis associadas e independentes, que apresentam mudanças apenas no espaço geográfico, como a Geologia, a Geomorfologia e a Pedologia. Por outro lado, são distintas as variáveis, também independentes, que podem variar ao longo do espaço e ao longo do tempo, como a Vegetação e Uso do Solo, bem como o Clima, nos diversos cenários evolutivos no espaço geográfico estudado. Assim, a Equação 6.1 pode ser melhor detalhada na forma da Equação 6.2.

$$V (x,y,t) = f' [G (x,y), R (x,y), S(x, y), Vg (x, y, t), C (x, y, t)] \quad \text{Eq. (6. 2)}$$

Onde:

x, y = coordenadas geográficas da área de estudo;

t = tempo.

Nessa metodologia, os valores da Vulnerabilidade ambiental, são obtidos espacialmente utilizando-se álgebras de mapas, por meio da Equação 6.3, adaptada de Crepani *et al.* (2001) que define a média aritmética das vulnerabilidades atribuídas a cada tema específico.

$$V(x, y, t) = \frac{G(x,y)+R(x,y)+S(x,y)+Vg(x,y,t)+C(x,y,t)}{5} \quad \text{Eq. (6.3)}$$

O clima é representado pelos totais mensais de precipitações pluviométricas dos meses mais chuvosos do ano. No caso de não terem sido observadas tendências temporais de mudanças climáticas, relativas aos padrões de precipitação pluviométrica, a variável C passa a ser considerada como função independente do tempo.

Para o clima considerado invariável ao longo do tempo, a Equação 6.3 pode ser simplificada e escrita conforme a Equação 6.4.

$$V(x, y, t) = \frac{G(x,y)+R(x,y)+S(x,y)+Vg(x,y,t)+C(x,y)}{5} \quad \text{Eq.(6.4)}$$

A vulnerabilidade das unidades territoriais básicas relativas à Geomorfologia foi definida por este autor, com base nos índices morfométricos descritos por meio da Equação 6.5.

$$R(x, y) = \frac{G(x,y)+A(x,y)+D(x,y)}{3} \quad \text{Eq.(6.5)}$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de dissecação;

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude altimétrica;

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

A metodologia apresenta uma classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade (resistência ao processo natural à erosão), derivado dos mapas temáticos (Geologia, Pedológico, Geomorfologia, Clima e Uso do solo). Inicialmente, foram editados com os dados vetoriais através das atribuições dos valores de vulnerabilidade, segundo a relação de morfogênese e pedogênese, que variam na escala de 1 a 3, conforme o Quadro 6.2.

Quadro 6. 2 – Escala dos graus de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: (Crepani et. al. 2001)

Unidade de Paisagem	V		Grau de Vulnerabilidade	Grau de Saturação			
				Vermelho	Verde	Azul	Cores
U1	↑ VULNERABILIDADE ↓	3.0	Vulnerável	255	0	0	
U2		2.9		255	51	0	
U3		2.8		255	102	0	
U4		2.7		255	153	0	
U5		2.6	Moderadamente Vulnerável	255	204	0	
U6		2.5		255	255	0	
U7		2.4		204	255	0	
U8		2.3		153	255	0	
U9		2.2	Medianamente Estável/Vulnerável	102	255	0	
U10		2.1		51	255	0	
U11		2.0		0	255	0	
U12		1.9		0	255	51	
U13		1.8	Moderadamente Estável	0	255	102	
U14		1.7		0	255	153	
U15		1.6		0	255	204	
U16		1.5		0	255	255	
U17		1.4	Estável	0	204	255	
U18		1.3		0	153	255	
U19		1.2		0	102	255	
U20		1.1		0	51	255	
U21		1.0		0	0	255	

O modelo mostrado apresenta uma escala que relaciona a pedogênese/morfogênese na avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas, às quais se atribuem valores conforme explicitado no Quadro 6.3.

Quadro 6. 3 – Valores da estabilidade das categorias morfodinâmicas. Fonte: (Crepani *et. al.* 2001)

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2
Instável	Prevalece a Morfogênese	3

O processamento foi realizado utilizando o *software* ArcGis 9.3. Para o cálculo da Vulnerabilidade ambiental à perda de solo foi necessária a transformação dos arquivos vetoriais (SHP), para matriciais (*raster*). Essa operação foi realizada utilizando a extensão *Spatial Analyst tools*, seguindo os seguintes procedimentos no ArcMap: *ArcToolbox, Conversion tools, To raster, Feature to raster*, considerando os valores de vulnerabilidade 1 a 3 da Quadro 6.1.

Após a transformação para *raster*, foi realizado então o cruzamento dos 5 mapas temáticos conforme a Equação 6.4.

6.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

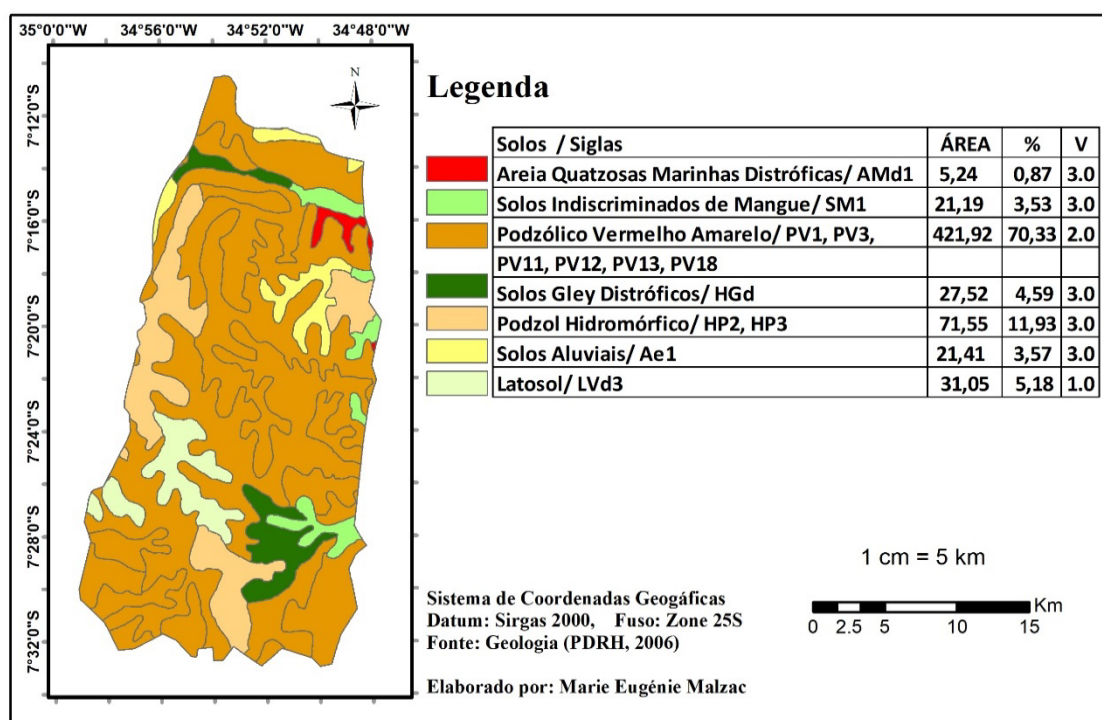
6.3.1 Mapas temáticos de vulnerabilidade associada

A seguir são apresentados os mapas temáticos do meio físico e antrópico, bem como as escalas das vulnerabilidades associadas de acordo com a metodologia de Crepani et al. (2001).

- Solos

Na ZC-Sul/PB ocorrem sete Classes de Solos, e a classe Podzólico Vermelho Amarelo é a grande maioria com 70,33 % do total da área. Na Figura 6.3 são mostrados o mapa de solos, siglas, áreas, o percentual de ocorrência e a sua vulnerabilidade associada.

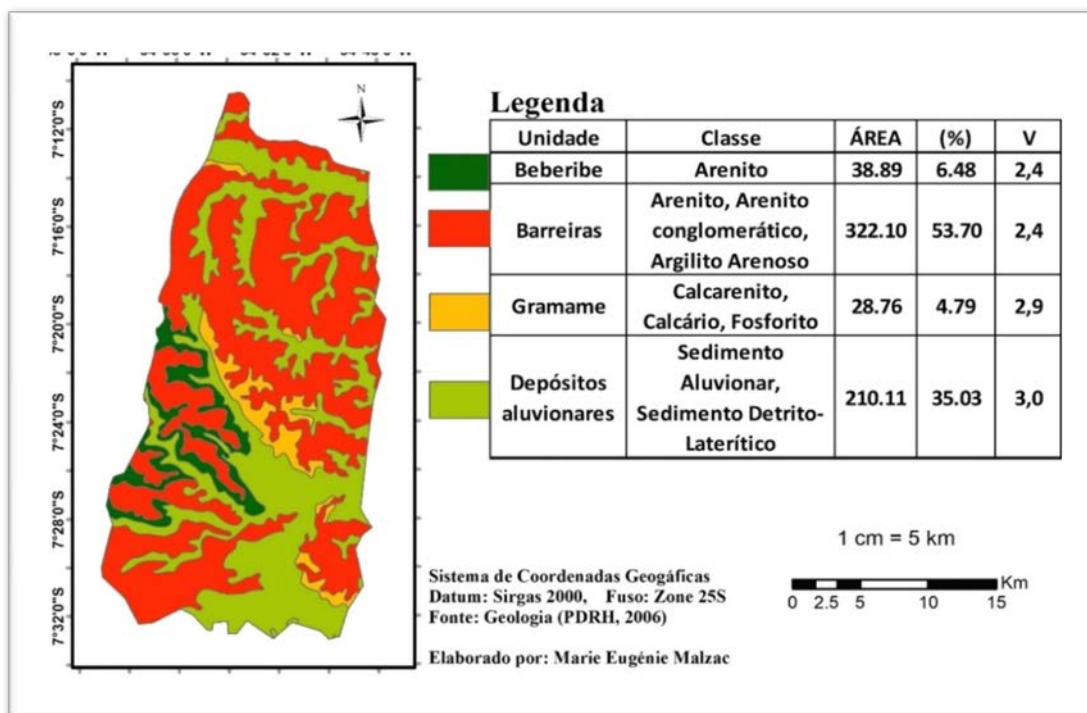
Figura 6. 3 - Espacialização das classes de solos, siglas, áreas (Km²), percentuais e vulnerabilidade



- Geologia

A geologia da ZC-Sul/PB se caracteriza pela predominância de formações do período pré-cambriano seguida da do período terciário (SEMARH, 2000). Na Figura 6.4 é apresentada a distribuição espacial das unidades geológicas, suas áreas, os valores percentuais e a sua vulnerabilidade. Foram classificadas quatro unidades, sendo a Formação Barreiras, com as classes arenito, arenito conglomerático e o argilito arenoso a que apresenta o maior valor percentual, 53,70%.

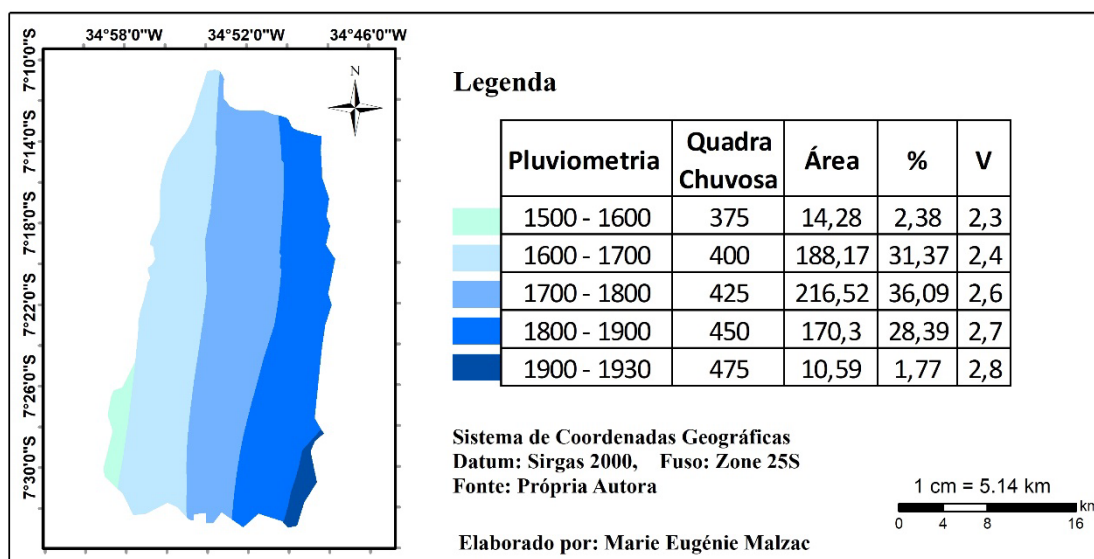
Figura 6. 4 - Distribuição espacial da Geologia, áreas (km²), percentuais e vulnerabilidade



- Clima

O cartograma relativo às isoietas da pluviometria anual na ZC-Sul/PB foi elaborado por meio dos dados das séries históricas dos postos de João Pessoa, Conde, Alhandra, Pitimbu e Caaporã, compreendendo os anos de 1960 a 2017. Observa-se um grande gradiente pluviométrico negativo na direção Leste-Oeste. O cartograma de pluviometria média anual com os valores variando entre 1.500 a 1.930 mm, suas áreas, os valores percentuais e a vulnerabilidade podem ser visualizadas na Figura 6.5.

Figura 6.5 – Distribuição espacial da pluviometria áreas (km²), percentuais e vulnerabilidade

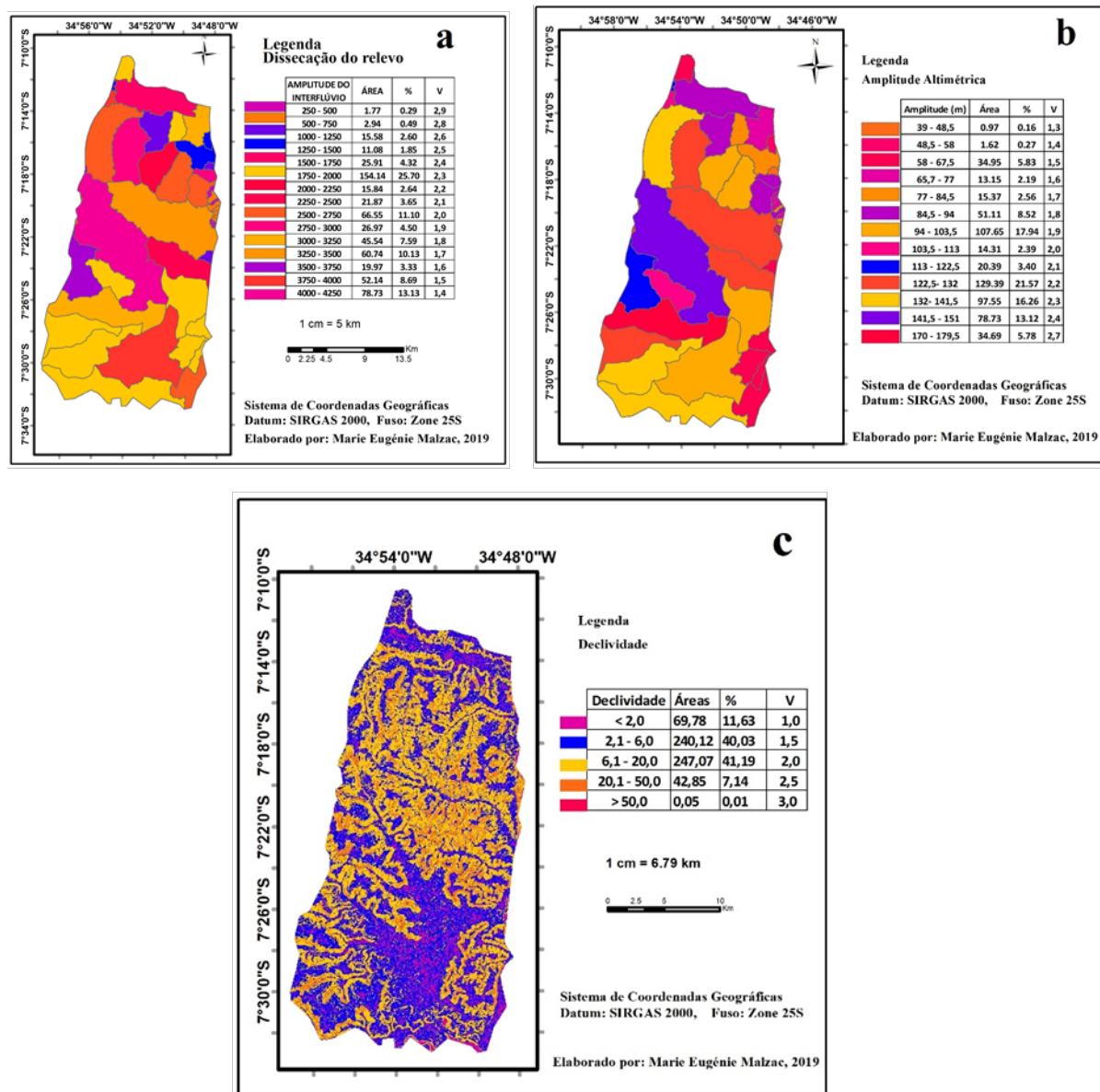


- Geomorfologia

Os cartogramas elaborados para a geração da Geomorfologia compreendendo a Declividade, Amplitude altimétrica e a Dissecção do relevo, estão apresentados nas Figuras 6.6 (a, b, c), com a distribuição espacial, suas áreas em Km², os valores percentuais e a vulnerabilidade.

A Amplitude altimétrica com a maior frequência ficou na faixa de 122,5 – 132 ocorrendo em 21,57% da área total. Na Dissecção do relevo a amplitude de interflúvios com a maior frequência foi da faixa de 1750 - 2000, com 25,70% da área total. As declividades predominantes estão entre 2 e 20%, compreendendo 81,22% da área da ZC-Sul/PB.

Figura 6.6 - Espacialização dos temas Amplitude de interflúvio (a), Amplitude Altimétrica (b) e Declividade (c), suas áreas (km²), percentuais e a vulnerabilidade

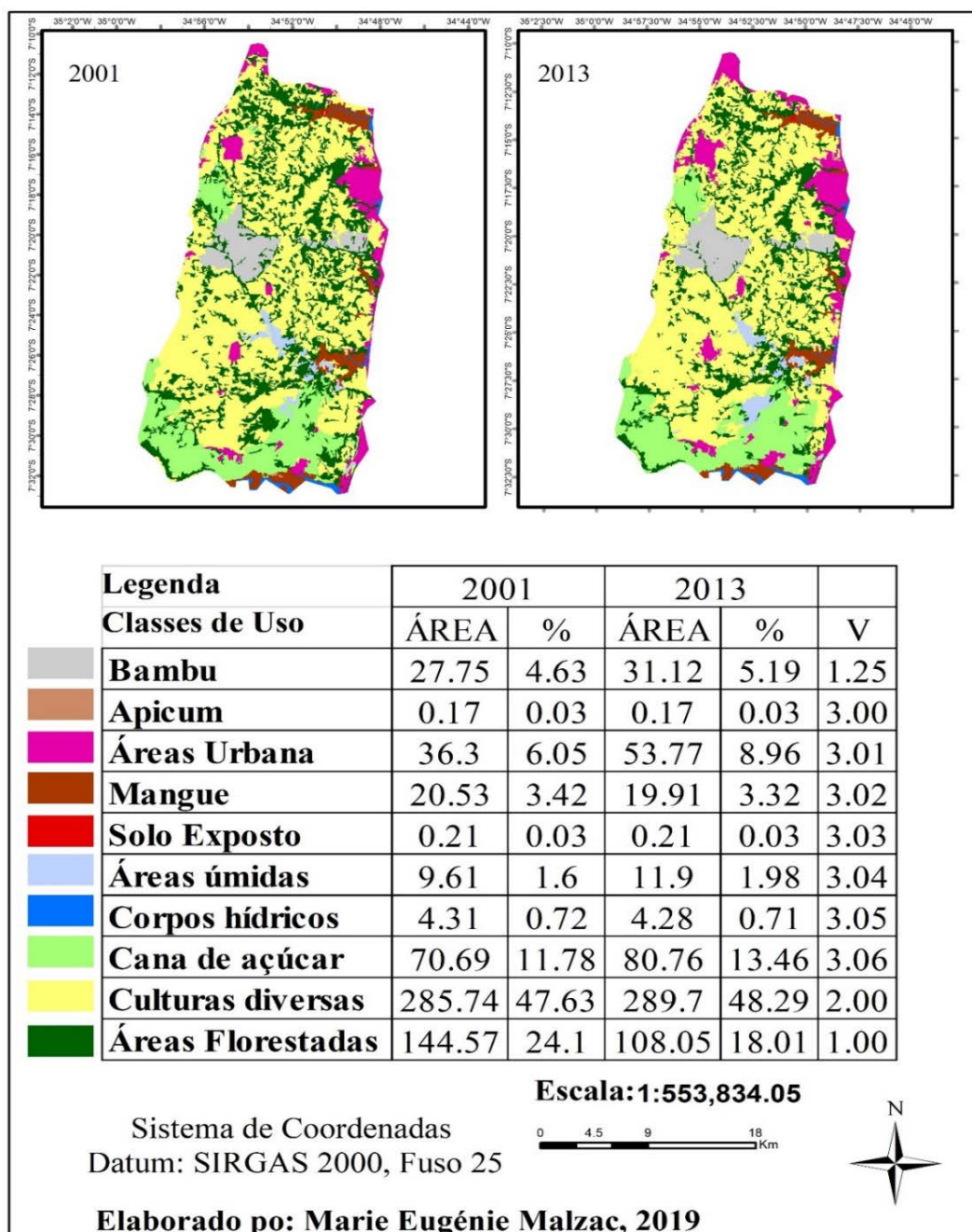


- Uso do solo

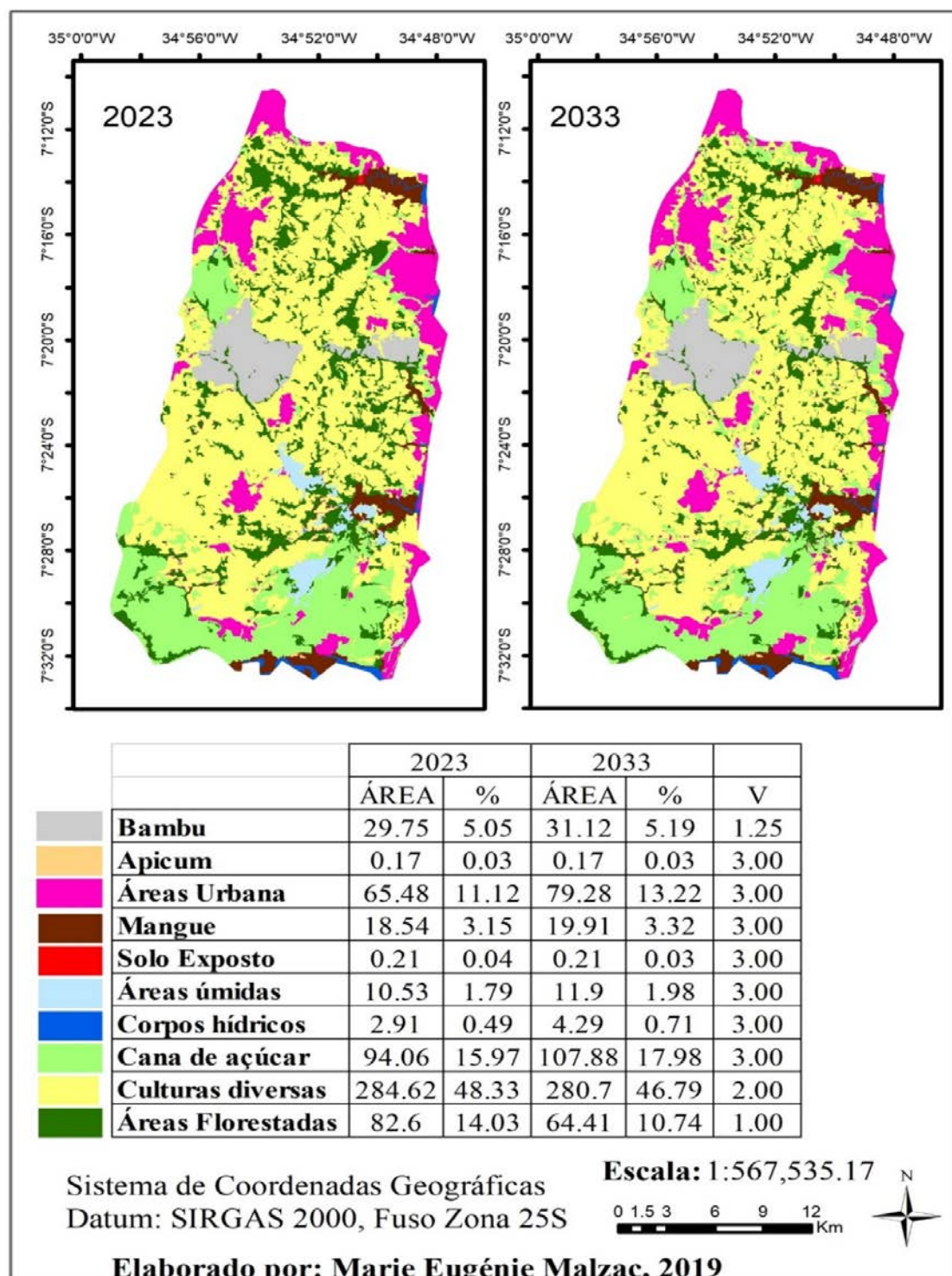
Os mapas gerados para os cenários pretéritos dos anos de 2001 e 2013 (Figura 6.7), referidos no capítulo 4, e preditivos, dos anos de 2023 e 2033 (Figura 6.8), mostraram a mobilidade espacial das atividades antrópicas na ZC-Sul/PB. Os valores de vulnerabilidade adotados para os usos do solo foram adaptados de Nascimento e Domingues (2009). As maiores áreas correspondem às culturas diversas (macaxeira, batata doce, melancia, tomate, feijão, inhame e coco) em todos os cenários. No período 2001 a 2013, a maior variação ocorreu nas Áreas

Florestadas com decréscimo de 6,09%. A cultura da cana de açúcar assume a segunda maior área nos cenários preditivos. A cana de açúcar passa a ser o uso com a segunda maior área nos cenários preditivos.

Figura 6.7 – Distribuição espacial dos usos do solo nos anos 2001 e 2013, áreas (km²), percentuais e vulnerabilidade



6. 8 – Distribuição espacial dos usos do solo dos anos preditivos 2023 e 2033, áreas (km²), percentuais e vulnerabilidade



6.3.2 Vulnerabilidade por tema do meio físico

Os cartogramas relativos aos graus de vulnerabilidade obtidos para cada tema são apresentados na Figura 6.9 (a, b, c, d) e na Figura 6.10 (a, b, c, d).

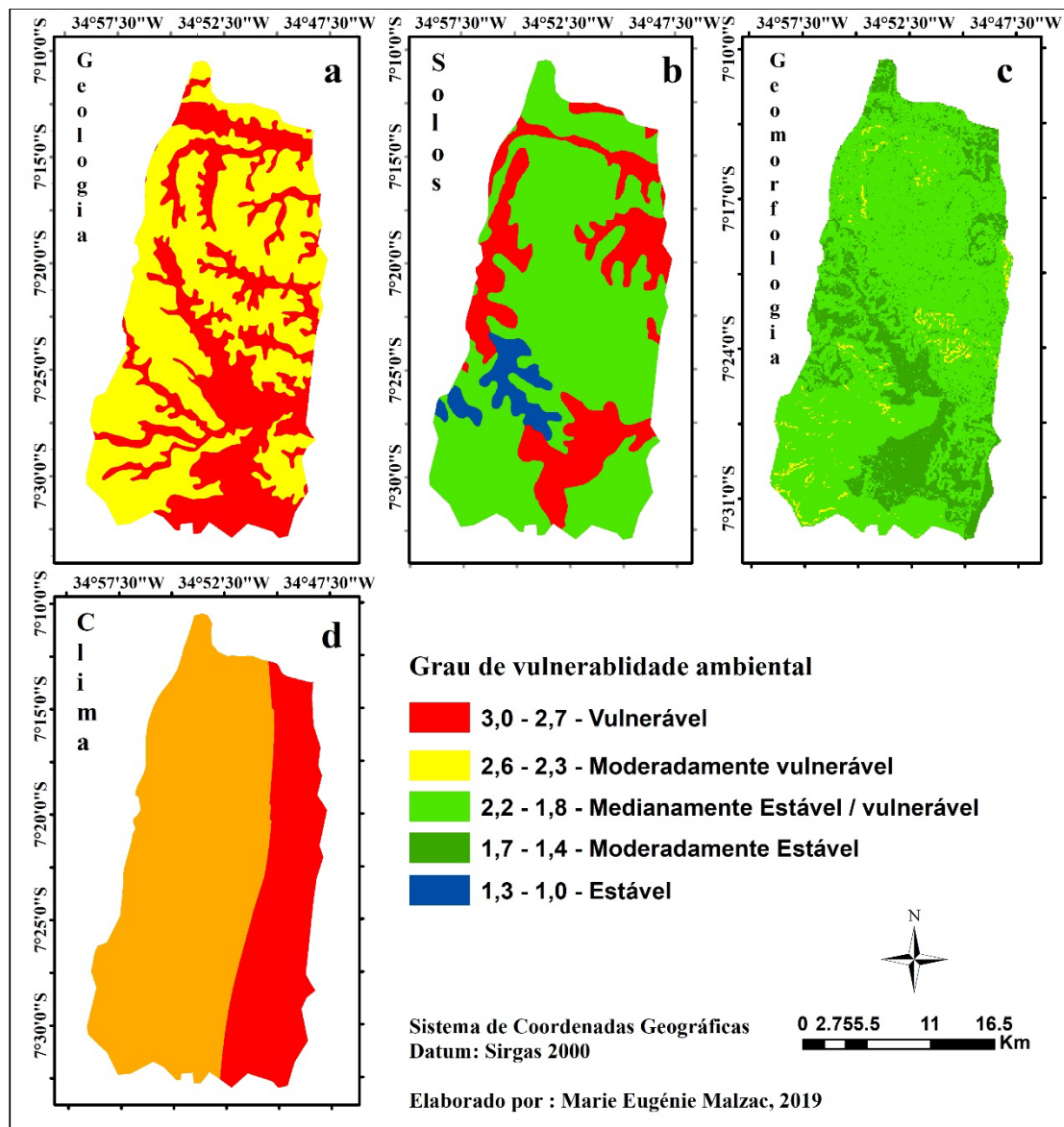
O tema geologia (Figura 6.9-a) é formado por dois graus de classificação de vulnerabilidade, sendo que a maior porção das áreas da ZC-Sul/PB, refere-se ao grau Moderadamente vulnerável com valor percentual de 60,18%. Portanto, as formações geológicas conferem à ZC-Sul/PB uma situação de instabilidade à perda de solo com predominância da morfogênese.

No tema Solo (Figura 6.9-b), foram observados três graus de classificação para a vulnerabilidade: Estável, com percentual de área de 5,18%; Medianamente Estável/Vulnerável, com percentual de 70,33%; e Vulnerável representando 24,49% da área total. Esses valores indicam a predominância da categoria morfodinâmica intermediária com equilíbrio da relação morfogênese/pedogênese.

Para o tema Geomorfologia (Figura 6.9-c), foram observados três graus de vulnerabilidade: 22,53% da área ZC-Sul/PB para Moderadamente Estável, 75,51% com Medianamente Estável/Vulnerável e 1,96% Moderadamente Vulnerável. Este tema mostra uma tendência à classificação na categoria intermediária, com prevalência de equilíbrio da relação morfogênese/pedogênese.

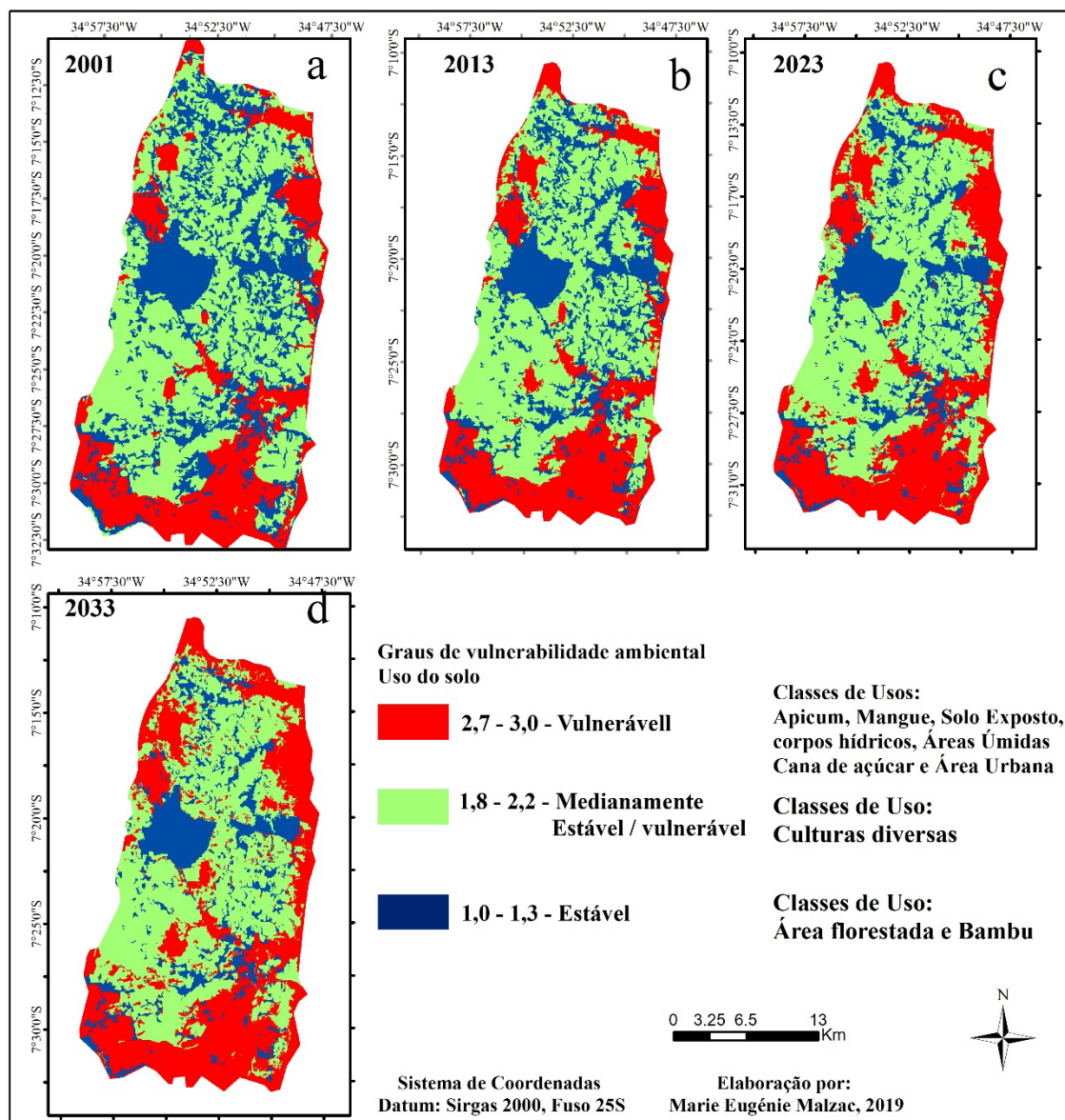
O tema Clima (Figura 6.9-d), referente às intensidades pluviométricas na quadra chuvosa, que corresponde aos meses abril, maio, junho e julho, possui dois graus de vulnerabilidade: Moderadamente vulnerável como maior porção da área com percentual de 69,84%; e Vulnerável, com percentual de 30,16%, concentrando-se na faixa mais próxima do litoral. Em consequência, o grau de vulnerabilidade prevalece na categoria morfodinâmica instável.

Figura 6.9 – Cartogramas de graus de vulnerabilidade ambiental à perda de solo dos temas Geologia (a), Solos (b), Geomorfologia (c) e Clima (d)



O tema Uso do solo é apresentado nos cartogramas da Figura 6.10 - (a, b, c, d) relativos à evolução da vulnerabilidade referente aos anos 2001 e 2013 e 2023 e 2033. Nesse tema foram observados três graus de classificação para a vulnerabilidade: Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, e Vulnerável.

Figura 6.10 – Cartogramas dos graus de vulnerabilidade para o tema uso do solo

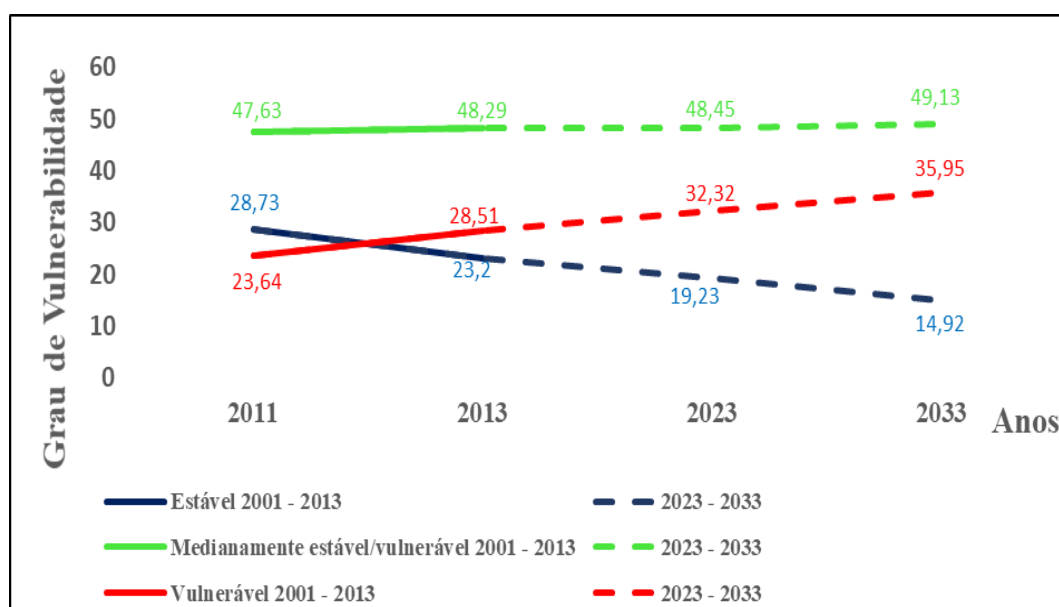


Foram observadas nas figuras 6.10 a distribuição concentrada e crescente do grau Vulnerável nas vizinhanças da fronteira Sul da ZC/Sul/PB e na faixa próxima à orla costeira. Em todos os anos dos dois períodos referidos houve prevalência da categoria morfodinâmica intermediária com equilíbrio da relação morfogênese/pedogênese, embora tenha havido tendência de instabilidade devido o crescimento do grau Vulnerável.

Na Figura 6.11 é apresentada a evolução da vulnerabilidade para esse tema. Pode ser observado desse gráfico que o grau de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável teve uma leve evolução, de apenas 0,66% no período no período pretérito e comportamento similar no período dos cenários

preditivos, com um acréscimo de 0,84%, e acréscimo do valor previsto em 1,5% no período 2001 - 2033. O grau Vulnerável foi o que mais cresceu nos períodos pretéritos e preditivos, com 4,87% e 7,44%, respectivamente. O grau Estável foi o único decrescente nos dois períodos, com queda de 5,53% no período pretérito e 8,27% no período preditivo, totalizando a queda de 13,80%, em decorrência da diminuição das áreas florestadas ao longo do tempo.

Figura 6. 11 – Evolução da vulnerabilidade para o tema uso do solo



6.3.3 Vulnerabilidade ambiental à perda de solo na ZC-Sul/PB

Os cartogramas mostrados na Figura 6.12, referentes aos anos de 2001 e 2013, e na Figura 6.1, referentes aos anos de 2023 e 2033, mostram a ocorrência de quatro graus de classificação para a vulnerabilidade ambiental à perda de solos na ZC-Sul/PB: Moderadamente estável, Medianamente estável/vulnerável, Moderadamente vulnerável e Vulnerável.

Figura 6. 12 - Cartogramas de vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB, nos anos 2001 e 2013

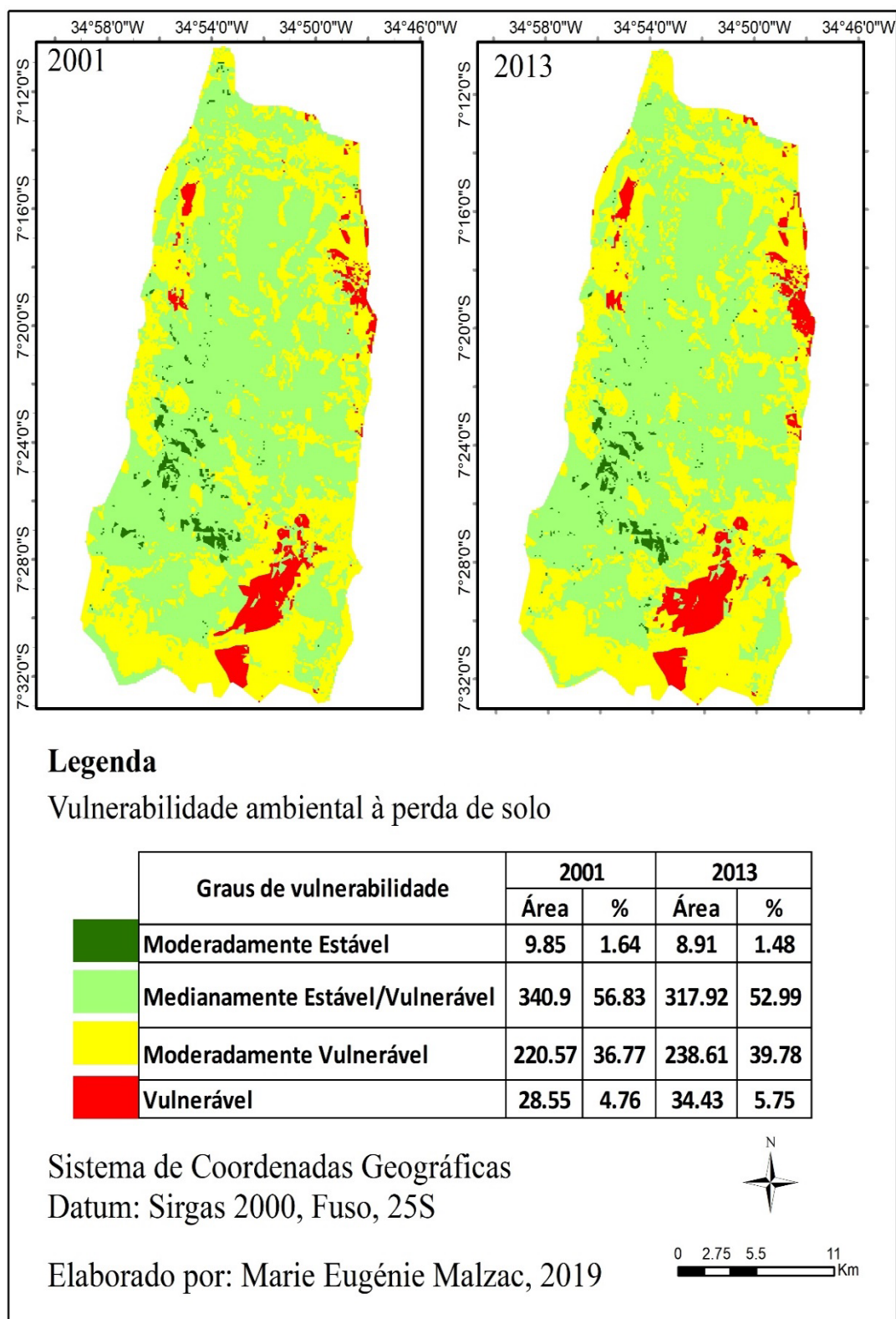
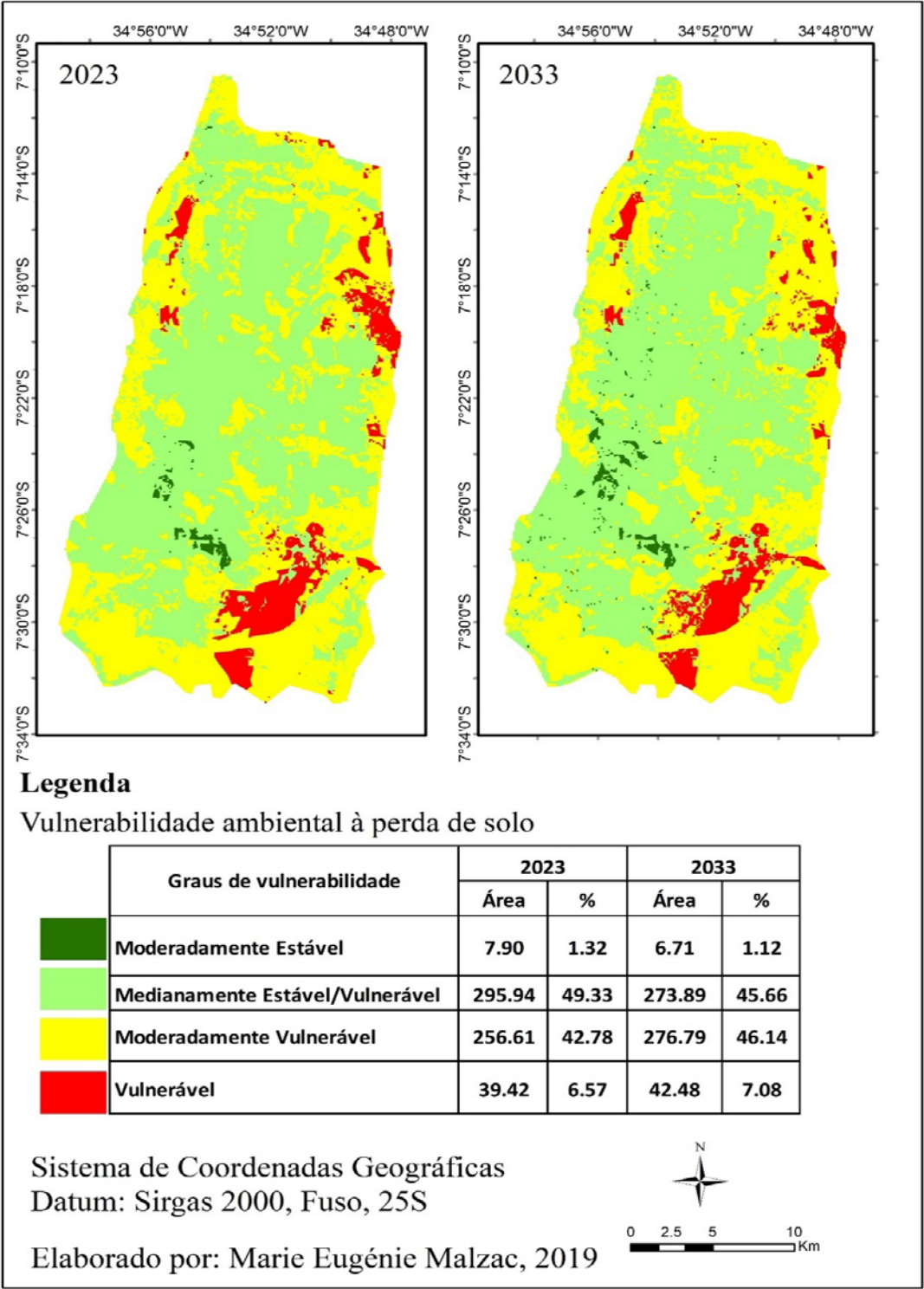


Figura 6. 13 - Cartogramas de vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB, nos anos 2023 e 2033

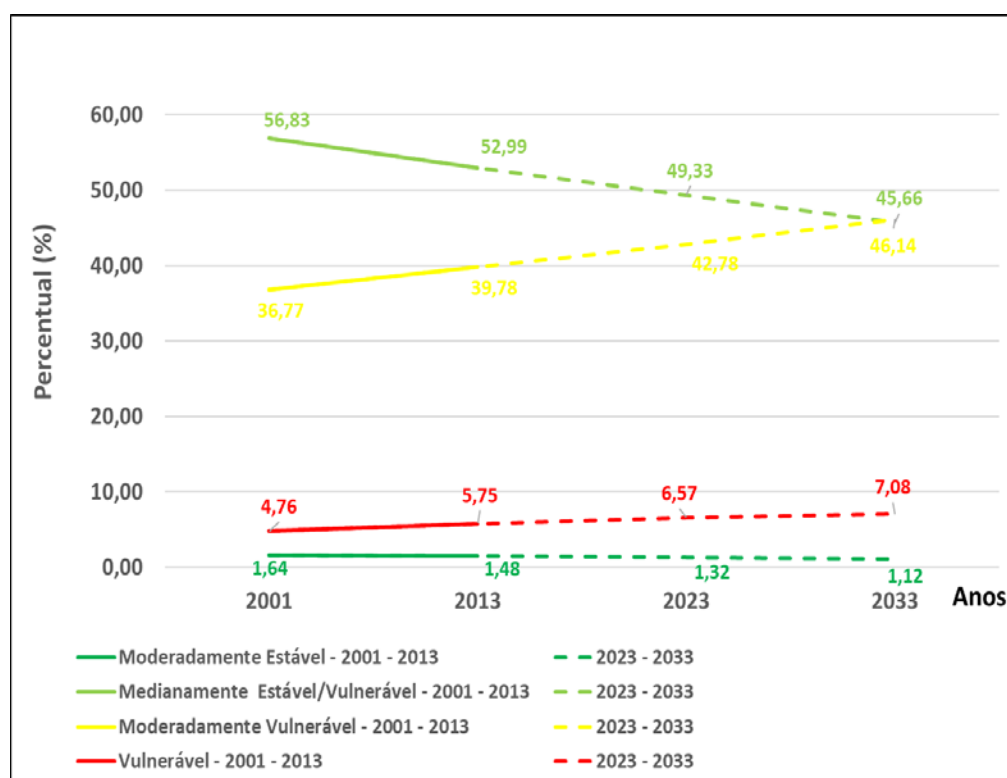


A classificação Medianamente Estável/Vulnerável corresponde maior frequência percentual nos cenários de 2001, 2013 e 2023. É distribuída em quase toda a ZC-Sul/PB, com exceção da porção Sul, em todos os anos. A classificação

Moderadamente Estável comparece em seguida com menores valores frequências, e apresenta distribuição espacial com maiores expressões nas bordas da ZC-Sul/PB em todos os cenários. A classificação Vulnerável, que comparece com frequência bem menor que as anteriores e se concentra em porções bem definidas na parte Sul e a Nordeste da ZC-Sul/PB. A menor das classificações, Moderadamente estável, é quase imperceptível, com ocorrências registradas principalmente na porção Sudeste da ZC-Sul/PB.

Pode ser verificado no gráfico da Figura 6.14 que as maiores variações da vulnerabilidade ocorreram nos graus Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente vulnerável. O que se observa é que o grau de classificação de maior decréscimo ao longo dos anos é o Medianamente Estável/Vulnerável, com comportamento quase linear, e queda esperada de 11,17% de 2001 a 2033. Por outro lado, pode ser notado um aumento previsto no grau Moderadamente vulnerável, quase linear, de 9,37%, sugerindo haver uma troca entre esses graus ao longo do tempo, sendo previsto por volta do ano de 2033 o ponto de mudança. O grau Vulnerável, com presença bem menor do que graus anteriores referidos, teve um aumento, também quase linear, de 2,32%. O menor grau, Moderadamente estável, compareceu com valores marginais sempre decrescentes, com decréscimo de apenas 0,52% em todo o período estudado.

Figura 6.14 – Evolução da vulnerabilidade (%) à perda de solo na ZC-Sul/PB



6.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços tecnológicos das últimas décadas, relativos às técnicas e métodos de análise nas áreas da geoinformação, do sensoriamento remoto, do processamento de imagens de satélites e dos modelos autômatos celulares, entre outros, têm possibilitado a realização de estudos com múltiplas variáveis com aplicação em modelos espaço-temporais.

Assim, a elaboração de cartogramas da vulnerabilidade ambiental à perda de solo da ZC-Sul/PB envolveu uma grande quantidade de informações espacializadas, oriundas de diversas fontes, e processadas com múltiplos modelos. Os cartogramas resultantes possibilitaram a integração dos diversos atributos dos sistemas natural e antrópico, permitindo a determinação dos elementos essenciais para o conhecimento da vulnerabilidade nos cenários analisados.

Do exame dos cartogramas de vulnerabilidade ambiental pôde ser inferida uma clara repercussão das mudanças do uso do solo, com o decréscimo de

áreas florestadas, e no aumento dos níveis de vulnerabilidade na ZC-Sul/PB, uma vez que os demais temas foram considerados estáticos na escala temporal referida.

Em nenhuma parte da ZC-Sul/PB houve classificação do grau de vulnerabilidade Estável, apesar de ter registrado a ocorrência desse grau no tema relativo aos Solos.

Foi observado um percentual frequencial apenas marginal para o grau Moderadamente estável, com variação negativa de pouco mais de 0,5% no período 2001-2033.

O grau Vulnerável apresentou leve tendência de crescimento nos cenários, de 2,32%, chegando a atingir o considerável percentual de 7,08%, com distribuição concentrada em poucas áreas das porções Sudeste e Nordeste da ZC-Sul/PB.

As maiores variações ao longo do tempo foram registradas e previstas nos graus Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente Vulneráveis, com decréscimo do primeiro e crescimento do segundo. A leitura dos valores da evolução desses graus permite concluir que houve uma troca entre esses graus, com previsão de cruzamento das curvas pouco antes de 2033.

A comparação dos cenários pretéritos e preditivos permitiu concluir que a categoria morfodinâmica intermediária prevaleceu em equilíbrio pedogenético/morfogenético nos cenários referentes aos anos de 2001 e 2013, com graus Medianamente Estável/Vulnerável, equivalentes a 56,83 e 52,99%. O cenário para o ano de 2033 aponta uma mudança para a situação de categoria instável, prevalecendo à morfogênese, somando 53,22%, com graus Moderadamente Vulnerável e Vulnerável, indicando propensão à perda de solo.

A categoria morfodinâmica intermediária, observada entre os anos 2001 – 2013, com o reconhecimento do equilíbrio pedogenético/morfogenéticos para a maior parte da ZC-Sul/PB, passa a para a previsão da condição de morfogênese, categoria instável, a partir de 2025.

Há a expectativa de que este trabalho possa contribuir para a compreensão de que as alterações ambientais decorrentes das mudanças do uso do solo são, de fato, as responsáveis pelo aumento da categoria morfodinâmica instável, e, portanto, de maior susceptibilidade à perda de solos na ZC-Sul/PB. Espera-se, também, que possa servir de subsídio aos planejadores ambientais no sentido de

promover políticas públicas que possam reverter as tendências negativas que podem ser provocadas pelo uso do solo.

6.5 – REFERÊNCIAS

- AESA, A. E. D. G. D. Á. D. E. D. P. **Dados pluviométricos**. [S.l.]. 2018. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em 02 fevereiro de 2018.
- ARCOVERDE, G. F. B. **Modelagem Dinâmica Espacial da Expansão da Área de Cana-de-Açúcar**: Quirinópolis (GO). São José dos Campos - São Paulo: Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. URL do documento original: INPE São José dos Campos., 2013. 207 p. URL do documento original: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2014/01.07.01.11/doc/publicacao.pdf>.
- BRASIL. **Diploma legal de criação**: Decreto Federal de 26 de Setembro de 2007, publicado no DOU nº 187 de 2007. Site da RESEX Acaú-Goiana: <https://sites.google.com/site/bibliotecavirtualdaresex/home/documentos-oficiais>. 2007.
- BESER DE DEUS, L. A. **Espaço e Tempo como Subsídios à Construção de Cenários de Uso e Cobertura da Terra para o Planejamento Ambiental na Amazônia: O Caso da Bacia do Rio Acre**. Rio de Janeiro - RJ. (Tese de Doutorado do Curso de Programa de Planejamento Energético - UFRJ), 2013. 400 p.
- BEZERRA, I. S.; CABRAL DA SILVA, T. Análise de riscos à perda de solo para diferentes cenários de uso e ocupação na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 19 n.4, p. 195-204, Out/Dez 2014.
- CABRAL DA SILVA, T. et al. Diagnóstico e Hierarquização de Problemas de Drenagem Urbana da Zona Costeira Sul do Estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13 - Nº 2, p. 144-152, abr/jun 2008.
- CERH. **Resolução Nº 03, de 05 de novembro de 2003 – Áreas de atuação dos Comitês**. [S.l.]: [s.n.]. 2003.
- Cruz, C. H. de Brito; Souza, G. Mendes; Cantarella, Heitor; Van Sluys, Marie-Anne; Maciel Filho, R; Luís Augusto Barbosa Cortez (org.). **Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, ISBN 978-85-212-1062-7. 2016. 224 p.
- COSTA, F. R. D. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN)**. Natal - RN: Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA, 2018. 244 p.
- COUTINHO, R. Q.; LIMA FILHO, M. F.; SOUZA NETO, J. B. **Características climáticas, geológicas, geomorfológicas e geotécnicas da Reserva Ecológica de Dois Irmãos**. In: MACHADO, I. C.; LOPES, A. V.; PÔRTO, K. C.

(Org.). Reserva Ecológica de Dois Irmãos. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1998. 326 p.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: MCT/INPE, 2001.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Climatologia do Estado da Paraíba**. Campina Grande-PB: EDUEFG, v. 1ª Edição, 2017. 75 p. ISBN 978-85-0001-197-5.

FREITAS, C. C. M. D. **Desenvolvimento de um Sistema Computacional para Geração Automática de Mapas de Vulnerabilidade como Ferramenta de Auxílio às Ações de Prevenção ao Derramamento de Óleo em Áreas Costeiras**. Natal – RN: Dissertação de Mestrado apresentada em 14 de maio de 2010 para obtenção do título de Mestre em Geodinâmica pelo Programa de PósGraduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, 2010.

GOMES, R. L. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 41-53, set.-dez 2013. ISSN 2176-4786. doi: 10.4025/bolgeogr.v31i3.18650.

GRIGIO, A. M. **Evolução da Paisagem do baixo curso do rio Piranhas-Assu(1988-2024)**: Uso autômatos celulares em modelos dinâmico espacial para simulação de cenários futuros. Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Tese de doutorado, 2008. 216 p.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas**. 2011.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Regiões geográficas Intermediárias e Imediatas, divisão geográfica regional do país, segundo a composição elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), instituídas em 2017**. Rio de Janeiro: Coordenação de Geografia, 2017.

IWAMA., A. Y. **Riscos e Vulnerabilidades às Mudanças Climáticas e Ambientais: Análise Multiescalar na Zona Costeira de São Paulo – Brasil**. Campinas – SP: Tese de Doutorado apresentada ao Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Campinas (IFCH/NEPAM/UNICAMP), 2014.

KAWASHIMA, R. S. et al. Modelagem Dinâmica Espacial como Ferramenta para Simulação de Cenários da Paisagem na Região Portuária da Baixada Santista. **BCG - Boletim de Ciências. Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 703 - 718, out - dez 2016. ISSN 1982-2170. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400040>.

LIMA, E. Q. D.; AMARAL, R. F. D. Vulnerabilidade da Zona Costeira de Pititinga/RN, Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 12, n. 28, p. 141-153, mai./ago. 2013. ISSN 1984-2201. Universidade Federal do Ceará. DOI: 10.4215/RM2013.1228. 001.

MACHADO, L. N. et al. Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. **Scientia Agropecuaria versión impresa**, Trujillo, vol.8 no.2, abr./jun 2017. www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172017000200008.

MALZAC, M. E.; CABRAL DA SILVA, T. Delimitações da zona costeira Sul do estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 19(2), p. 123-141, 2019. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n260_Malzac.pdf.

MOURA, R. L. U. D. **Processos dinâmicos e evolutivos da Zona Costeira de Itamaracá por sensoriamento remoto e medidas in situ**. Tese apresentada ao Programa de Pós graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco. ed. Recife - PE: [s.n.], 2009. 120 p.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. volume 39, p. 3, 2009.

OLIVEIRA, F. F. G. D. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte**. Rio Claro - São Paulo: Tese de Doutorado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente para obtenção do título de doutor em Geociências e Meio Ambiente, 2011.

PARAÍBA. **Decreto N. 276, de 25 de janeiro de 1991. Institui Área de Proteção Ambiental Estadual de Tambaba**. [S.l.]: [s.n.]. 1991.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídrico (PERH-PB)**. João Pessoa - PB: Governo do Estado da Paraíba - Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA - Consócio - TC/BR - Concremat, 2006. 112 p.

PEREIRA DA SILVA, M. **Categorias Geoambientais da Paisagem Costeira de Ilha Grande - PI**. Sergipe: Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geografia, 2013.

PIRES, A. L. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas do Litoral Sul Paraibano**, . João Pessoa - PB: Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – MESTRADO. CDU – 624:505(043), 2015.

ROLIM NETO, F. C.; CALDAS, A. M.; PARAHYBA, R. da B. V. **Solo como parâmetro da qualidade ambiental**. In: NEUMANN-LEITÃO, S.; EL-DEIR, S. Bioindicadores da qualidade ambiental. Recife: Instituto Brasileiro. Pró-Cidadania, 2009. p. 65-80.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

SANTANA, N. S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental de Salvador: Um Subsídio Ao Planejamento E À Gestão Territorial Da Cidade Salvador**. Salvador: [s.n.], 2014. 211 p.

SANTOS, M. S. T. et al. Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. **BCG -**

Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 691-705, out-dez 2015. ISSN 1982-2170.

SEMARH, S. E. D. M. A. D. R. H. E. M. **Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame**. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. João Pessoa. 2000.

SILVA, J. S.; FARIAS FILHO, M. S. Expansão urbana e impactos ambientais na Zona Costeira norte do Município de São Luís (MA). **Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 46, p. 07-24, mar. 2019. ISSN 2177-2738.

SOARES-FILHO, B. et al. DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazonia brasileira: análise comparativa. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 abril 2013.

SOSMA, F. S. M. A. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Relatório Técnico. PERÍODO 2017-2018**. São Paulo: [s.n.], 2019. Acesso: <http://mapas.sosma.org.br>.

SOUZA, S. O.; VALE, C. C. D. Vulnerabilidade ambiental da planície Costeira de Caravelas (BA) como subsídio ao ordenamento ambiental. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 147-160, jan/abr 2016.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informação. **Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, nov. 2003. 1657-1664. São José dos Campos: INPE.

THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Gulf of Mexico Coast. **U.S. Geological Survey, Woods Hole**, Massachusetts, 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, v. 91 p, 1977.

Capítulo 7– CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

Neste item, são sintetizadas as conclusões finais da tese buscando oferecer uma visão geral do trabalho, lembrando que as conclusões detalhadas podem ser lidas em cada artigo.

Sobre a delimitação da ZC-Sul/PB

Este estudo tratou de uma contribuição como um exemplo de aplicação de metodologias que visam preencher uma lacuna ainda existente na literatura específica sobre delimitação de ZC, considerando múltiplas variáveis, podendo ser adaptadas às diversas situações que poderiam ocorrer.

A definição racional para o limite da ZC deve induzir a localização das obras hidráulicas localizadas nas bacias hidrográficas a montante, mas considerando seções de rios de vazões exequíveis para aproveitamento. É imprescindível realçar a restrição para a implantação dessas estruturas em sítios suficientemente distantes do limite da ZC, em seções a montante, nas quais não haja indícios da ocorrência de características de ambiente flúvio-marinho.

O critério arbitrário, referente ao traçado da rodovia BR-101, foi considerado como o mais adequado, uma vez que todos os elementos característicos e definidores da transição entre os domínios continental e marinho se situam a Leste, sem abranger grandes áreas das bacias hidrográficas a montante, nas quais poderia haver captações de água doce para fins diversos. Atende-se assim aos preceitos do gerenciamento costeiro e da gestão de recursos hídricos.

Sobre a dinâmica do uso e ocupação do solo na ZC-Sul/PB no município de Pitimbu

O estudo de caso sobre as mudanças das classes de uso do solo no município de Pitimbu revelou a eficiência do modelo utilizado e possibilitou o

entendimento da dinâmica de troca de áreas entre as classes no período estudado.

Os resultados alcançados, relativos às previsões feitas em Pitimbu, levaram à convicção de que o modelo e seus parâmetros podem ser utilizados em outras áreas da ZC-Sul/PB, onde as mudanças entre as classes não apresentam padrões muito díspares. Ficou patente a adequação das metodologias empregadas na representação das mudanças do uso do solo ao longo do tempo.

Ficou demonstrada a potência da ferramenta de modelagem espacial dinâmica utilizada no trabalho para o apoio à gestão, sendo objeto de suporte à tomada de decisão de medidas ambientalmente sustentáveis por meio de ações preventivas ou corretivas.

O estudo sobre modelagem no município de Pitimbu pode vir a subsidiar trabalhos sobre o planejamento e gerenciamento em nível de municípios ou estados, além de regiões específicas como a zona costeira.

Sobre as mudanças pretéritas e preditivas do uso e cobertura do solo na ZC-Sul/PB

As principais mudanças do uso e ocupação do solo ocorreram principalmente em função do forte desmatamento relacionado à classe Áreas florestadas, subsistemas da Mata Atlântica, distribuídas em praticamente toda a ZC-Sul/PB, ao longo do período estudado.

Pôde ser constatado que as previsões para a cobertura do UOS para os cenários futuros expressaram um padrão de continuidade que indicou transições harmônicas entre as classes, compatíveis com os cenários observados no período anterior.

Se a tendência das alterações dos usos e da ocupação do solo na ZC-Sul/PB se mantiverem como previsto, podem ser alcançados, no horizonte desse estudo, níveis severos de degradação ambiental.

Sobre as análises de tendências e de periodicidades de séries pluviométricas da ZC-Sul/PB

A ZC-Sul/PB do estado da Paraíba apresenta os maiores valores de precipitação média anual no estado, o que leva a se esperar maior potencial de erosividade das chuvas no sentido de aumentar a vulnerabilidade ambiental à perda de solos.

A aplicação dos testes de Mann-Kendall às series pluviométricas anuais e das médias da quadra chuvosa de 58 anos dos municípios da ZC-Sul/PB não indicaram haver tendências estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

O exame dos arranjos dos valores das séries devido a aplicação do teste de fases de Wallis e Moore indicou aleatoriedade na sequência das precipitações anuais e das médias da quadra chuvosa, do que é inferido que não há tendências ou periodicidades ao nível de significância de 5%.

Os resultados da aplicação dos dois testes de verificação de tendências de séries temporais possibilitaram a aplicação de metodologias de avaliação ambiental para cenários futuros sem a necessidade de levar em conta variações nos índices pluviométricos.

Sobre a evolução da vulnerabilidade ambiental na ZC-Sul/PB

Do exame dos cartogramas de vulnerabilidade ambiental pôde ser inferida uma clara repercussão das mudanças do uso do solo, com o decrescimento das áreas florestadas, e no aumento dos níveis de vulnerabilidade na ZC-Sul/PB, uma vez que os demais planos temáticos foram considerados estáticos na escala temporal referida.

Em nenhuma parte da ZC-Sul/PB houve classificação do grau de vulnerabilidade Estável, apesar ter-se registrado a ocorrência desse grau no tema relativo aos solos.

Foi observado um percentual frequencial apenas marginal para o grau Moderadamente estável, com variação negativa de pouco mais de 0,5% no período 2001-2033.

O grau Vulnerável apresentou leve tendência de crescimento nos cenários de 2,32%, chegando a atingir o considerável percentual de 7,08%, com distribuição concentrada em poucas porções na parte Sudeste da ZC-Sul/PB e no Nordeste, em porções menores.

As maiores variações ao longo do tempo foram registradas e previstas nos graus Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente Vulneráveis, com decréscimo do primeiro e crescimento do segundo. A leitura dos valores da evolução desses graus permitiu concluir que houve uma troca entre esses graus, com previsão de cruzamento das curvas pouco antes de 2033.

A comparação dos cenários pretéritos e preditivos permitiu concluir que a categoria morfodinâmica intermediária prevaleceu em equilíbrio pedogenético/morfogenético nos cenários referentes aos anos de 2001 e 2013, com graus Medianamente Estável/Vulnerável, equivalentes a 56,83% e 52,99%.

O cenário para o ano de 2033 aponta uma mudança para a situação de categoria instável, prevalecendo a morfogênese, somando 53,22%, com graus Moderadamente Vulnerável e Vulnerável, indicando propensão à perda de solo.

A categoria morfodinâmica intermediária, observada entre os anos 2001 – 2013, com o reconhecimento do equilíbrio pedogenético/morfogenéticos para a maior parte da ZC-Sul/PB, passa a para a previsão da condição de morfogênese, categoria instável, a partir de 2025.

7.2 CONTRIBUIÇÕES

A pesquisa relatada nesta tese contribuiu para a compreensão de que as alterações ambientais decorrentes das mudanças do uso do solo são, de fato, as responsáveis pelo aumento da categoria morfodinâmica instável, e, portanto, de maior susceptibilidade à perda de solos na ZC-Sul/PB.

Houve também colaboração com a discussão sobre a interação entre a zona costeira e as áreas para exploração de águas superficiais nas bacias hidrográficas à montante, bem como o entendimento para a aplicação de metodologias que visam a delimitação da ZC atendendo aos princípios do gerenciamento costeiro e à gestão de recursos hídricos.

Sobre a Gestão Integrada da Zona Costeira, entendida como um tema transversal nessa tese, houve uma contribuição no sentido de que, apesar de ser

reconhecida a necessidade da integração da gestão de recursos hídricos e de gerenciamento da ZC, explicitada desde a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), não foi possível, na ZC-Sul/PB, reconhecer a integralidade desses processos. A ocorrência de conflitos ambientais e de disponibilidade hídrica entre usuários de recursos hídricos e pescadores de áreas a jusante, a existência de captações para uso agrícola em trechos de rios sujeitos a variações de salinidade, entre outros, atestam a gestão fragmentada e insuficiente, na qual a integralidade deveria buscar a proteção não somente dos recursos naturais, mas também de todos os componentes ambientais em conjunto, considerando as suas relações e interações. No caso da ZC-Sul/PB há evidências de notórios prejuízos ao meio ambiente e à economia regional, com aumento da vulnerabilidade ambiental.

Outra contribuição foi relativa ao entendimento de que, ao contrário do que afirmam alguns autores sobre ter havido influências das mudanças climáticas indutoras de tendências de séries temporais de precipitações na zona costeira Sul do estado da Paraíba, foi constatado que as tendências não são significativas.

O procedimento elaborado com base nas comparações dos gráficos de perdas e ganhos, evolução e correlação entre os valores percentuais das classes de uso de Pitimbu e da ZC-Sul/PB, para aplicação do modelo LCM na ZC-Sul/PB, pode ser entendido como mais uma contribuição, uma vez que foi concebido com o objetivo de contornar o problema da ausência de imagens recentes sem incidência de nuvens na região para validação do modelo na ZC-Sul/PB.

7.3 RECOMENDAÇÕES

Devido à baixa ocupação humana, que ainda pode ser observada na área de atuação do CBHLS, a ZC-Sul/PB não foi objeto de delimitação sob a ótica da influência das variáveis relativas às características socioeconômicas. Nesse sentido, estudos sobre a delimitação de ZCs poderiam ser realizados levando em consideração estas características.

A delimitação adotada para a ZC-Sul/PB deve ser revista em médio prazo, devendo fazer parte de um processo de planejamento cíclico, uma vez que os impactos gerados nas BHs a montante e as mudanças no uso do solo poderão justificar a adoção de novos limites, inclusive com a possibilidade de uma

delimitação híbrida, incluindo as características socioeconómicas para uma representação mais apropriada.

A metodologia que permitiu a modelagem da dinâmica do uso do solo efetuada na tese, e os seus resultados, também poderão ser úteis para demonstrar a viabilidade de realização de outros trabalhos destinados à gestão de áreas de conservação e para apoiar outros estudos dependentes da dinâmica das classes de uso.

Espera-se que os trabalhos desenvolvidos nesta tese possam servir de subsídios aos planejadores ambientais no sentido de promover políticas públicas que possam reverter as tendências negativas decorrentes do uso do solo.