



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**JOSEANE DUNGA DA COSTA**

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE  
ÁREAS NATURAIS NO MUNICÍPIO DE NATAL-RN**

**Natal**  
**2015**

JOSEANE DUNGA DA COSTA

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE  
ÁREAS NATURAIS NO MUNICÍPIO DE NATAL-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral

Natal  
2015

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.  
Catalogação da Publicação na Fonte.

Costa, Joseane Dunga da.

Evolução espaço-temporal da ocupação urbana sobre áreas naturais do município de Natal-RN / Joseane Dunga da Costa. – Natal, RN, 2015. 95 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Uso e ocupação do solo - Dissertação. 2. Morfodinâmica urbana - Dissertação. 3. Geoprocessamento - Dissertação. 4. Remanescentes de dunas - Dissertação. 5. Preservação ambiental - Dissertação. I. Amaral Ricardo Farias do. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

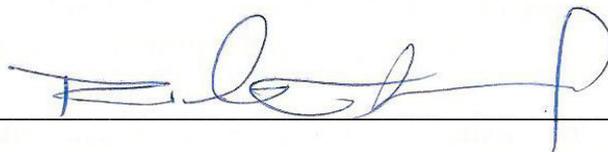
CDU 332.5

JOSEANE DUNGA DA COSTA

**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE ÁREAS  
NATURAIS NO MUNICÍPIO DE NATAL-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Sanitária.

**BANCA EXAMINADORA**



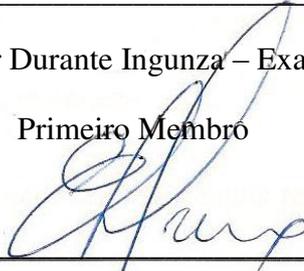
Dr. Ricardo Farias do Amaral - Orientador

Presidente



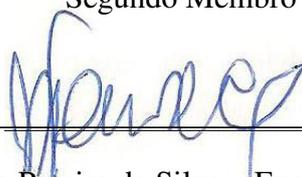
Dr.<sup>a</sup>. Maria Del Pilar Durante Ingunza – Examinador UFRN

Primeiro Membro



Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima – Examinador Externo UFPB

Segundo Membro



Dr. Vanildo Pereira da Silva – Examinador UFRN

Terceiro Membro

Natal, 12 de fevereiro de 2015

## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Com certeza, primeiramente à Deus, por me conceder o dom da vida, e principalmente, o poder da fé, tornando o promissor por todas as realizações, alegrias, saúde e sabedoria na minha vida.

Ao professor orientador Ricardo Farias do Amaral, pela humildade, respeito, otimismo, força, apoio e conhecimentos a mim transmitidos, importantes na realização deste trabalho.

Aos professores da banca Dr<sup>a</sup>. Maria Del Pilar Durante Ingunza, Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima e Dr. Vanildo Pereira da Silva pela presença e sábias contribuições.

Aos meus amados pais, Antônio Santos da costa e Josenilma Dunga da Costa, pelo carinho, amor, dedicação, e ensinamentos puros e singelos, os quais sempre me apoiaram e fortaleceram, sendo os responsáveis pela pessoa que hoje sou e o alcance dos meus objetivos. Aos senhores, por toda a minha vida, agradecerei o que fizeram por mim. AMOR INCONDICIONAL.

À minha querida irmã, Jaqueline Dunga da Costa, pela presença constante, conselhos, carinho, por acreditar sempre no meu potencial e o principal, por sempre se preocupar com o meu melhor e me ajudar em tudo sempre. Agradeço muito.

Ao meu noivo, Tiago Alisson da Silva, pelo o amor, companheirismo, carinho, e principalmente compreensão por estarmos distantes em alguns momentos importantes. Formidável contribuinte para essa conquista, o qual sempre me motivou e amparou nos momentos em que mais precisei.

Aos amigos, Nádia Narjara, Régia Carneiro, Maryanne Ferreira, Cláudia Patrícia, André Maia, Gustavo Szilagyi, Paulo Víctor, Rudah Marques, Isabelly Gomes, Xailla Amaral e aos meus ex-alunos do estágio à docência, agradeço a todos pela amizade e os quais contribuíram e muito para essa minha conquista.

Aos professores do mestrado, pelos ricos conhecimentos repassados, cruciais para a garantia da minha qualificação profissional.

Agradeço à CAPES pela oportunidade de bolsa, ao LEGEO pela infraestrutura disponível, ao PPGES pelo apoio e à SEMURB pela dados fornecidos.

E a todos os outros que de uma forma ou de outra, colaboraram para que eu atingisse mais um objetivo importante e gratificante na vida, o tão sonhado título de mestre.

“Posso, tudo posso Naquele que me fortalece  
Nada e ninguém no mundo vai me fazer desistir  
Quero, tudo quero, sem medo entregar meus projetos  
Deixar-me guiar nos caminhos que Deus  
desejou pra mim e ali estar.  
Vou perseguir tudo aquilo que Deus já escolheu pra mim  
Vou persistir, e mesmo nas marcas daquela dor  
Do que ficou, vou me lembrar  
E realizar o sonho mais lindo que Deus sonhou  
Em meu lugar estar na espera de um novo que vai chegar  
Vou persistir, continuar a esperar e crer  
E mesmo quando a visão se turva e o coração só chora  
Mas na alma, há a certeza da vitória.”

(Padre Fábio de Melo)

## RESUMO

Neste trabalho a morfodinâmica da paisagem foi utilizada para verificar a intensidade e importância das mudanças exercidas pelo homem sobre o meio ambiente ao longo do tempo, no município de Natal-RN. Foi analisada a ocupação sobre áreas naturais parcialmente preservadas, mas ambientalmente frágeis, como as matas ciliares, cobertura vegetal nas margens dos cursos d'água, que desempenham papel de reguladoras do fluxo hídrico, e as dunas, que garantem a rápida recarga dos aquíferos. Foram identificados e caracterizados os impactos da expansão urbana nas zonas Sul e Oeste do município de Natal, por meio de um mapeamento detalhado, no período entre 1969 e 2013 das principais Áreas de Preservação Permanente - APP's (margens de rios e lagoas, e dunas e remanescentes) e suas alterações temporais. Para isto foram usadas fotografias aéreas e imagens de satélite, dados altimétricos, além de informações pré-existentis, o que permitiu a criação de um banco de dados espaciais, além de mapas de evolução das áreas impermeáveis, evolução do uso e ocupação e um Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de curvas de nível com equidistância de 1 metro. Com base neste estudo é apresentado um diagnóstico da situação ambiental e do estado de conservação das áreas naturais, ao longo dos últimos 44 anos, frente às pressões antrópicas. Em linhas gerais, verificou-se que a ocupação urbana avançou cerca de 60% sobre as áreas naturais estudadas. Esse avanço foi crescente até o ano de 2006, quando se observou uma desaceleração neste processo, excetuando a Zona de Proteção Ambiental (ZPA) 03, onde está o rio Pitimbú e a sua APP, que experimentou uma perda mais significativa de área. A ocupação urbana afetou a drenagem natural e contribuiu para a contaminação das águas subterrâneas de Natal, devido ao aumento da área impermeabilizada, do lançamento de resíduos líquidos e sólidos, bem como a retirada da mata ciliar. Alterou de modo irreversível a paisagem natural, e reduziu a qualidade e quantidade dos recursos hídricos necessários à população. Dessa maneira, é necessário que se estimule a adoção de medidas de planejamento de uso e proteção das APP's, com a preservação da Região do San Vale inserida na ZPA 01, além de integrar mais remanescentes de dunas, em bom estado de conservação, a esta ZPA, devido à importância destes remanescentes para o meio ambiente e na manutenção da qualidade de vida. Sugere-se, também, proteção das áreas de drenagem, como as APP's das lagoas e do rio Pitimbú. Finalmente, espera-se que este estudo possa auxiliar na tomada de decisão, de órgãos gestores no planejamento urbano e ambiental do município.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Morfodinâmica urbana, Preservação ambiental, Remanescentes de dunas, Uso e ocupação do solo.

## ABSTRACT

In this work the landscape morphodynamics was used to check the strength and importance of the changes carried out by man on the environment over time, in Natal-RN municipality. The occupation of partially preserved natural areas was analyzed, but environmentally fragile, such as riparian forests, vegetation on the banks of waterways, which play regulatory role of the water flow, and the dunes, which guarantee the rapid recharge of aquifers. The impacts of urban sprawl in Natal Southern and West zones Were identified and characterized, through a detailed mapping in the period between 1969 and 2013 the main Permanent Preservation Areas - PPA (banks of rivers and lagoons, and dunes remaining) and their temporal changes. For this were used aerial photographs and satellite imagery, altimetry data, and pre-existing information, which allowed the creation of a spatial database, and evolution of maps of impervious areas, evolution of the use and occupation and Digital Terrain Model (DTM) from contour lines with contour interval of 1 meter. Based on this study presents a diagnosis of the environmental situation and the state of conservation of natural areas, over the last 44 years, compared to human pressures. In general, it was found that the urban settlement has advanced about 60% of studied natural areas. This advance was growing by the year 2006, when there was a slowdown in the process, except for the Environmental Protection Zone (EPZ) 03, where the river Pitimbú and your PPA, which experienced a more significant loss area. The urban occupation affected the natural drainage and contributed to the contamination of groundwater Natal, due to increased sealed area, the release of liquid and solid waste, as well as the removal of riparian vegetation. Changed irreversibly the natural landscape, and reduced the quality and quantity of water resources necessary for the population. Thus, it is necessary to stimulate the adoption of use and protection of PPA planning measures, to the preservation of the San Valley Region inserted into the EPZ 01, and integrate more remaining dunes, in good condition, this EPZ, due to the importance of those remaining on the environment and the maintenance of quality of life. It is suggested, also, protection of catchment areas, such as PPA ponds and Pitimbú River. Finally, it is expected that this study can assist the managers in making decisions in urban and environmental planning of the municipality.

**Keywords:** Geoprocessing, Urban morphodynamics, Land use and occupation, Remaining dunes, Environmental Conservation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Diferença de área em hectares e variação temporal em porcentagem das classes permeáveis e impermeáveis.....	53
Tabela 02 – Áreas naturais em hectares e em porcentagem para cada ano em relação à área total de estudo.....	56
Tabela 03 – Diferença de área em hectares e variação temporal em porcentagem das áreas naturais .....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Dados <i>raster</i> originais utilizados na elaboração dos Planos de Informações (PI's) deste trabalho.....	39
Quadro 02 – Resolução espacial e escala de trabalho .....	43
Quadro 03 – Classes de uso e ocupação do solo estabelecidas.. ..	44
Quadro 04 – Lagoas encontradas na área de estudo.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Localização da área de estudo no município de Natal (Escala de detalhe).....	29
Figura 02. Zonas de Proteção Ambiental inseridas na área de estudo. ....	35
Figura 03. Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.....	40
Figura 04. Evolução espaço-temporal das áreas permeáveis e impermeáveis entre 1969 e 2013 .....	50
Figura 05. Alterações nas áreas impermeáveis entre 1969 e 2013.....	52
Figura 06. a) Modelo Digital de Terreno de 1978 da área de estudo. b) Perfis selecionados do MDT de 1978.....	55
Figura 07. Uso e ocupação do solo de 1969 a 2013 da área de estudo, destacando o Rio Pitimbú, as lagoas (Numeradas conforme o Quadro 04) e suas APP's da margem superior(ano de 1978), além das dunas e remanescentes e o avanço da ocupação urbana sobre essas feições.....	57
Figura 08. Vistas da Lagoa da ZPA 01.....	63
Figura 09. Resíduos sólidos (lixo e resíduos da construção civil presentes no entorno da Lagoa da ZPA 01 e esgoto a céu aberto direcionado para a mesma.....	64
Figura 10. Vistas da Lagoa Nova Cidade em 2014.....	65
Figura 11. Presença de resíduos sólidos e lançamento de esgoto direto na Lagoa Nova Cidade.....	65
Figura 12. Pressão urbana no entorno da Lagoa, como a construção de condomínio dentro da sua APP.....	66
Figura 13. A) Lagoa dos Caiapós I parcialmente assoreada. B) Presença de lixos em erosões na borda da Lagoa dos Caiapós.....	67
Figura 14. Vistas da Lagoa do Planalto III.....	68
Figura 15. Vistas da Lagoa San Vale RD01 e ao lado a ZPA 1.....	69
Figura 16. Vistas da Lagoa do Horto em 2014.....	70
Figura 17. Abandono e presença de resíduo na lagoa do Horto.....	70
Figura 18. Flagrante de deposição de resíduos no entorno da Lagoa do Horto.....	70
Figura 19. Vista da Lagoa da Esperança já com medidas e em um considerável estado de conservação.....	71
Figura 20. Evolução da Lagoa Nova nos anos: A (1969), B (1979), C (2006) e D (2013).....	73
Figura 21. A (Lagoa 40 em 2007, quando ainda natural e resquício da Lagoa Nova em frente ao Centro Administrativo). B (Lagoa artificial construída sobre a antiga lagoa 40 em 2014).....	74

Figura 22. Lagoas do Centro Administrativo: A (Lagoa 41) e B (Lagoa 39).....	74
Figura 23. Vista da Lagoa maior da Petrobras.....	75
Figura 24. Vistas da Lagoa do Xavantes II.....	76
Figura 25. Lagoa do San Vale RD04 (Número 30), a maior encontrada na área de estudo como lagoa natural de drenagem em 2013 e sua APP de 50 metros da sua maior margem (ano de 1978).....	77
Figura 26. Lixo presente na ZPA 3, mais precisamente na APP (margens) do Rio Pitimbú.....	79
Figura 27. Mata ciliar presente na APP margem direita encostada do Rio Pitimbú.....	79
Figura 28. Queimada, pontos de lixo e desmatamento na ZPA 3, nas proximidades da Av. dos Caiapós, alastrando-se pela margem do Rio Pitimbú.....	80
Figura 29. Ocupação na ZPA 01 em 2013, com ênfase em sua SZ1-A.....	83
Figura 30. Redução do Remanescente de Duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 de 1969 a 2013.....	84
Figura 31. Pressão antrópica como construções e lixo no entorno do remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01.....	85
Figura 32. Deslizamento dos sedimentos do remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 e medida de alargamento da rua, onde são retirados os excessos de areia.....	85

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Classes permeáveis e impermeáveis em porcentagem para cada ano em relação à área total de estudo... ..	51
Gráfico 02 – Porcentagem das áreas naturais entre os anos estudados... ..	58
Gráfico 03 – Variação em porcentagem das áreas naturais apenas para quatro períodos sequenciais.....	59

## LISTA DE SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN
MDT	Modelo Digital de Terreno
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SEMURB	Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo
SEMOPI	Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UTM	Universal Transverso de Mercator
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>18</b>
<b>1 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
1.1 ASPECTOS LEGAIS ABORDADOS.....	18
<b>1.1.1 Área de Preservação Permanente (APP)</b> .....	<b>18</b>
1.1.1.2 Mata Ciliar.....	20
1.1.1.3 Remanescentes de dunas .....	20
1.1.1.4 Zonas de Proteção Ambiental (ZPA) .....	21
<b>1.1.2 Plano Estadual do Gerenciamento Costeiro</b> .....	<b>21</b>
1.2 GEOMORFOLOGIA E ANÁLISE AMBIENTAL.....	23
1.3 GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS AMBIENTAIS E URBANOS.....	24
<b>1.3.1 Geoprocessamento</b> .....	<b>24</b>
1.3.1.1 Imagens orbitais e aéreas .....	25
1.3.1.2 Processamento Digital de Imagens (PDI).....	25
1.3.1.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG) .....	26
1.3.1.4 Modelo Digital de Terreno (MDT).....	26
1.4 NOMENCLATURA UTILIZADA .....	27
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>28</b>
<b>2 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>28</b>
2.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	29
<b>2.1.1 Clima</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.2 Hidrografia</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.3 Geologia e Geomorfologia</b> .....	<b>32</b>
2.2 ASPECTOS AMBIENTAIS .....	34
<b>2.2.1 Zonas de Proteção Ambiental inseridas na Área de Estudo</b> .....	<b>34</b>
2.3 EVOLUÇÃO URBANA DA CIDADE DO NATAL .....	35
<b>2.3.1 Início dos loteamentos e eixos de indução</b> .....	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>38</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
3.1 DEFINIÇÃO DA BASE DE DADOS.....	38
3.2 EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL: METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	39
<b>3.2.1 Preparação dos dados analógicos</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2.2 Georreferenciamento das imagens</b> .....	<b>41</b>
3.2.2.1 Cartas altimétricas de 1978.....	41

3.2.2.2 Fotografias aéreas de 1969 e 1979 e imagem de satélite de 2013 .....	42
<b>3.2.3 Fotointerpretação e classificação das imagens processadas .....</b>	<b>42</b>
3.2.3.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo .....	42
<b>3.2.4 Geração do Modelo Digital de Terreno .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.5 Levantamento de campo .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.6 Quantificação das alterações espaço-temporais .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.7 Identificação dos impactos ambientais .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>48</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1 EVOLUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO.....	48
4.2 ESTUDO DO RELEVO .....	54
<b>4.2.1 Análise do MDT .....</b>	<b>54</b>
4.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE 1969 A 2013 .....	56
<b>4.3.1 Análise da Malha Hídrica .....</b>	<b>60</b>
4.3.1.1 Lagoas Naturais e Artificiais .....	60
<b>4.3.1.2.1 Influência direta da ocupação urbana sobre as lagoas .....</b>	<b>62</b>
4.3.1.2 Rio Pitimbú e sua APP (inclusas na ZPA 03) .....	77
<b>4.3.2 Análise das Dunas e Remanescentes .....</b>	<b>81</b>
4.3.2.1 ZPA 01.....	81
4.3.2.2 Remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 .....	83
4.3.2.3 ZPA 04.....	86
4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS .....	86
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios para a gestão ambiental no Brasil são as zonas costeiras, pois além da grande extensão do litoral e das formações físico-bióticas extremamente diversificadas, convergem também para esse espaço os principais vetores de pressão e fluxos de toda ordem, compondo um amplo e complexo mosaico de tipologias e padrões de ocupação humana, de uso do solo e dos recursos naturais, bem como de exploração econômica (MMA; MPOG, 2006).

Dotados de uma importância estratégica ímpar, é visível o grande valor ambiental dos espaços litorâneos, em que a falta de equilíbrio entre o desenvolvimento das cidades e a preservação do patrimônio ambiental e natural, é que põe em risco a qualidade de vida, ocupando o meio ambiente uma posição protagonista nesta questão. Ou seja, tal patrimônio encontra-se sob o risco de degradação iminente, diretamente proporcional à pressão da ocupação antrópica desordenada. É neste complexo sistema que se concentra 24,6% da população brasileira (IBGE, 2010).

A ocupação do litoral brasileiro vem se caracterizando por profunda alteração e deterioração da paisagem (MUEHE, 2001), evidenciada principalmente na zona costeira do Nordeste, e em estados com forte apelo turístico, o que favorece o mercado imobiliário, visando o interesse pelas praias, estuários, rios, lagoas, dunas, mangues e restingas, como no Rio Grande do Norte, por exemplo, e para além das capitais, estendendo a mancha de urbanização em municípios costeiros.

Natal, a área de estudo do presente trabalho, reconhecida por um alto potencial turístico e natural, dispõe em seu Código de Meio Ambiente (Lei nº 4.100, 19 de julho de 1992) as Áreas de Preservação Permanente (APP's), sendo algumas delas as dunas, a vegetação (mata ciliar) e margens de rios e lagoas (naturais e artificiais), assim como as vertentes do rio Doce e Pitimbú, estuários, entre outros (NATAL, 1992).

Ao longo das últimas décadas, o elevado crescimento urbano no município é regido pelos interesses imobiliários privados, marcando historicamente o processo de ocupação do solo através da especulação imobiliária, principalmente entre 1970 e 1990, que proporcionou simultaneamente um forte impacto ambiental, ocasionando especialmente a degradação da qualidade da água do estuário Potengi/Jundiá e o desaparecimento da maioria das lagoas localizadas nas áreas de expansão urbana (MEDEIROS, 2001). Essas lagoas, juntamente com os córregos associados aos rios Potengi e Pitimbu, compunham o sistema de drenagem natural da cidade (AMARAL; FILHO; FONSECA, 2005). Esse fato tem sido considerado como um

dos responsáveis da ocorrência de inundações em Natal, nos períodos de chuvas mais intensas.

Natal possui 36 bairros, alguns dos quais com APP's e adensamentos populacionais, inclusive bastante visados pela especulação imobiliária. A especulação imobiliária é considerada o ameaçador do principal manancial de abastecimento da Região Metropolitana de Natal, o rio Pitimbú (ESP NOTÍCIAS, 2010). Embora sejam áreas que contenham Zonas de Proteção Ambiental (ZPA's), sofrem intensa disputa por espaço físico, inclusive várias APP's encontram-se fora deste zoneamento, como os remanescentes de dunas e algumas lagoas. Isso proporciona cada vez mais a existência de construção na bacia e no entorno dessas unidades, modificando ou destruindo a drenagem natural, onde os efluentes domésticos e industriais passam a ser lançados (MEDEIROS, 2001), diminuindo a recarga direta, aumentando os riscos de contaminação do lençol freático e a presença de inundações. Entre os bairros de Neópolis e Capim Macio, por exemplo, os teores de nitrato nas águas subterrâneas chegam a 90mg/l (VASCONCELOS, 2002).

A morfodinâmica pode ser usada como um indicador para verificar a intensidade e importância das mudanças exercidas sobre o meio ambiente, como alterações na geometria, quantidade e possível qualidade de recursos hídricos (estuários, lagoas, rios e águas subterrâneas), remanescentes de dunas, áreas verdes, bem como outros elementos naturais.

Quando susceptíveis a forte intensidade morfodinâmica ou mesmo a desastres ecológicos, as áreas costeiras necessitam de estudos específicos voltados à compreensão destes complexos mecanismos. Isto inclui o cálculo de taxas e estimativas dos fenômenos, cujo monitoramento é essencial ao uso e planejamento destas áreas, o que pode ser alcançado com a integração Sensoriamento Remoto-Sistema de Informações Geográficas (IBGE, 2009).

Desta forma, considerando o histórico de ocupação desordenada e o aumento da pressão urbana em Natal, foram identificados e caracterizados os impactos nas principais APP's do Natal, focando nas existentes em uma área que representasse as características naturais litorâneas e os problemas sócio-espaciais do município, no período de 1969 a 2013. Para isto foram usadas fotografias aéreas e imagens de satélite, dados altimétricos digitais, além de informações prévias já utilizadas por outros autores, com base no uso e ocupação do solo e em alguns indicadores ambientais, como mudanças no relevo (geomorfologia), com ênfase nas dunas e remanescentes e nas modificações no sistema de lagoas e no Rio Pitimbú.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e caracterizar os impactos da expansão urbana nas principais APP's (margens de rios e lagoas, e dunas e remanescentes) inseridas nas Zonas Sul e Oeste do município de Natal, no período entre 1969 e 2013, por meio de geotecnologias e estudo de campo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear as margens dos rios e lagoas, bem como dunas e remanescentes, inclusive o avanço da ocupação urbana sobre as APP's em cada período e quantificá-las;
- Transformar dados altimétricos em MDT para identificar a geometria (relevo) e possíveis alterações na área de estudo;
- Avaliar a evolução espacial da ocupação urbana ao longo dos últimos 44 anos;
- Identificar o uso e ocupação do solo dessas áreas;
- Diagnosticar a situação ambiental e o estado de conservação dos sistemas frente às pressões antrópicas.

## CAPÍTULO I

### 1 REVISÃO DA LITERATURA

#### 1.1 ASPECTOS LEGAIS ABORDADOS

Ao longo do texto são abordados alguns aspectos legais, visando facilitar sua compreensão e objetivando contextualizar a temática envolvida neste trabalho e a importância de cada termo.

##### 1.1.1 Área de Preservação Permanente (APP)

O Novo Código Florestal Brasileiro, designado pela Lei de nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que revoga a Lei Federal de nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 (alterada pelo projeto de Lei nº 1.876/99), define *Área de Preservação Permanente* em seu artigo 3º como:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Originadas pelo reconhecimento da importância que se tem em manter o equilíbrio e a qualidade do ambiente, é possível apontar uma série de benefícios ambientais decorrentes da manutenção das APP's. Benefícios esses que podem ser observados tanto sob aspectos físicos, quanto ecológicos, sendo alguns citados respectivamente, como a estabilidade e porosidade do solo, amortecimento das chuvas; além da reciclagem de nutrientes, entre outros (SKORUPA, 2003).

Maiores detalhes podem ser encontrados na Resolução CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002, como os parâmetros, as definições e limites de APP, inclusive quanto à aplicação do Código Florestal em áreas urbanas, que foi adicionado a esta Lei, em caso de dúvidas, o parágrafo único, que diz:

Parágrafo único – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo. (BRASIL, 2002).

Na legislação em vigor no município, as APP's são consideradas pelo Código de Meio Ambiente da cidade do Natal (Lei 4.100 de junho de 1992) em seu artigo 55 e no 56 (da destinação e restrição):

- I - os manguezais, as áreas estuarinas, os recifes, as falésias e dunas;
  - II - as nascentes e as faixas marginais de proteção de águas superficiais;
  - III - as florestas e demais formas de vegetação situadas ao redor das lagoas ou reservatório d'águas naturais ou artificiais;
  - IV - as florestas e demais formas de vegetação situadas nas nascentes, mesmo nos chamados "olhos d'água", seja qual for a sua topografia;
  - V - a cobertura vegetal que contribua para a estabilidade das encostas sujeitas à erosão e deslizamentos ou para a fixação de dunas;
  - VI - as áreas que abriguem exemplares raros, ameaçados de extinção ou insuficientemente conhecidos da flora e da fauna, bem como aqueles que sirvam como local de pouso, abrigo ou reprodução de espécies;
  - VII - estuário do rio Potengi, vertentes dos rios Pitimbu e Doce, cordões dunares de Capim Macio, de Pitimbu, da Cidade da Esperança, de Guarapes, da Redinha e da praia do Forte (NATAL, 1992, p.10)
- Art. 56 - As áreas de preservação permanente são destinadas a: I - realização de pesquisas básicas e aplicadas de ecologia; II - proteção do ambiente natural; III - preservação da diversidade e integridade da fauna e flora municipal e dos processos ecológicos essenciais; IV - desenvolvimento da educação conservacionista; V - realização do turismo ecológico.
- Parágrafo único - São proibidas quaisquer outras atividades nas áreas de preservação permanente, e em especial as abaixo indicadas:
- I - circulação de qualquer tipo de veículo;
  - II - campismo; III - piquenique; IV - extração de areia;
  - V - depósito de lixo;
  - VI - urbanização ou edificações de qualquer natureza, mesmo desmontáveis;
  - VII - retirada de frutos pendentes;
  - VIII - culturas agrícolas;
  - IX - pecuária, inclusive a de animais de pequeno porte;
  - X - queimadas e desmatamento;
  - XI - aterros e assoreamentos.

O Plano Diretor da cidade complementa, mencionando que são APP's, as áreas que estão nas Subzonas de Preservação, inclusas nas Zonas de Proteção Ambiental (ZPA's):

- b) as nascentes, ainda que intermitentes, os chamados "olho d'água, qualquer que seja sua situação topográfica num raio mínimo de 50m a partir do leito maior;
- c) a vegetação presente nas margens dos rios e corpos d'água, numa faixa de 30m a partir do nível do nível maior da maior cheia (leito maior) (NATAL, 2007, p.412).

Cabe ressaltar a Lei 8.426 de novembro de 2003, que dispõe sobre a Faixa de Proteção Ambiental do Rio Pitimbu, que subdivide-se em APP's e Áreas Passíveis de Uso e Ocupação. No artigo 4, trata da delimitação da APP, estabelece a mata ciliar, considerando-se uma faixa

mínima de 100 (cem) metros para cada margem, medidos horizontalmente, a partir do leito maior sazonal do rio, seus afluentes e entorno das nascentes.

#### 1.1.1.2 Mata Ciliar

As matas ciliares, formações vegetais existentes ao longo das margens dos cursos de água, cuja tem função primordial na proteção dos recursos hídricos e manutenção da qualidade destes em equilíbrio com a fauna e flora existentes na região (NICÁCIO, 2001), por exemplo, a de contribuir para a qualidade e o controle do fluxo de água, como também na prevenção contra erosão, e conseqüentemente o assoreamento do rio; e sua delimitação dependerá da largura do corpo hídrico.

Diante disso, vê-se a importância da manutenção das margens de águas superficiais, considerando que o avanço da expansão urbana sobre essas áreas poderá acarretar a perda das funções que garantem aos sistemas naturais.

#### 1.1.1.3 Remanescentes de dunas

A duna é um ecossistema costeiro, caracterizada por montes móveis de areias quartzosas, assim depositadas pela ação do vento dominante, sendo posteriormente colonizadas por plantas e animais típicos de regiões com baixo índice de pluviosidade (LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011).

Já os remanescentes de dunas, são fragmentos isolados de dunas, que não tiveram a devida proteção, como a não incorporação às Zonas de Proteção Ambiental, que servem como conectivos a estas áreas naturais maiores. Além disso, favorecem a conservação da biodiversidade deste ecossistema e fazem parte de zonas naturais de infiltração de precipitações pluviométricas (LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011), favorecendo a recarga de aquíferos e a evacuação das águas pluviais excedentes, o que contribui para amenização de inundações.

Em decorrência das suas funções ecológicas e ambientais expostas, bem como pela importância paisagística, o crescimento urbano pode acarretar sérios prejuízos não só a este ecossistema, como também à população, já que o tipo de solo dunar é impróprio para abrigar qualquer tipo de construção, por ser composto de areias quartzosas, que são instáveis e susceptíveis a deslizamento.

Natal possui 46 remanescentes de dunas, as quais não estão integradas às ZPA's, sendo que a maioria está sujeita à grande pressão urbana, cobrindo aproximadamente 2,5% de seu território e distribuídos proporcionalmente em relação à dimensão das Regiões

Administrativas, estando 25 no entorno das ZPA's e mantendo características semelhantes a elas, e que devem ser também incorporados (LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011).

#### 1.1.1.4 Zonas de Proteção Ambiental (ZPA)

O Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257, 10 de julho de 2001), determina a obrigatoriedade da adoção de um Plano Diretor, sendo neste definida a gestão do espaço urbano, como por exemplo, o Zoneamento Ambiental (BRASIL, 2001).

Considera-se Zona de Proteção Ambiental (ZPA) a “área na qual as características do meio físico restringem o uso e ocupação, visando à proteção, manutenção e recuperação dos aspectos ambientais, ecológicos, paisagísticos, históricos, arqueológicos, turísticos, culturais, arquitetônicos e científicos” (NATAL, 2007, p.411). Elas estão subdivididas em subzonas como de Preservação (única que deve ser intocável), Conservação e Uso Restrito, estando essas duas disponíveis para “uso sustentável”, que muitas vezes não são respeitadas. A divisão de unidades como essas é uma tarefa complexa, inclusive quando estão inseridas nas cidades, em decorrência da grande demanda a que esses espaços estão submetidos (CESTANO; FERNANDES; PEREIRA, 2012), principalmente a manutenção da sua conservação.

Foram criadas 10 ZPA's em Natal, localizadas em vários bairros, e a área de estudo abrange três, sendo elas: ZPA 01, 03 e parcialmente a 04, como será visto adiante no tópico **Área de estudo**.

#### 1.1.2 Plano Estadual do Gerenciamento Costeiro

Também há que se considerar o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, instituído pela Lei 6.950 de 20 de agosto de 1996, que considera a Zona Costeira formada por uma faixa marítima e outra faixa terrestre, sendo a faixa terrestre composta por 29 municípios, em conformidade com o art. 3º da citada Lei, dentre eles estão inclusos os municípios de Macaíba, Parnamirim e Natal, que são banhados pela bacia hidrográfica objeto do estudo. Nesse sentido, citamos in verbis:

Art. 3º. Para fins do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, a Zona Costeira, em sua faixa terrestre, é composta por 29 (vinte e nove) municípios, subdivididos em 02 (dois) Setores Costeiros:

I - LITORAL LESTE OU ORIENTAL - Maxaranguape, Ceará-Mirim, Extremoz, São Gonçalo do Amarante, Macaíba, Natal, Parnamirim, São José de Mipibu, Nísia Floresta, Senador Georgino Avelino, Arês, Tibau do Sul, Vila Flor, Goianinha, Canguaretama e Baía Formosa.

II - LITORAL NORTE OU SETENTRIONAL - Touros, Grossos, Areia Branca, Mossoró, Carnaubais, Serra do Mel, Macau,

Pendências, Alto do Rodrigues, Guimarães, Galinhos, São Bento do Norte e Pedra Grande. (grifo nosso).

Dentre os objetivos específicos do PEGC, destacam-se os seguintes: I - compatibilização dos usos e atividades antrópicas à garantia da qualidade ambiental através da harmonização dos interesses sociais e econômicos de agentes externos ou locais, sem prejuízo da competência municipal da mesma matéria; II - controle do uso e ocupação do solo, e da exploração dos recursos naturais em toda a Zona Costeira; III - definição de ações de proteção e recuperação das águas superficiais e subterrâneas da Zona Costeira, visando a garantia de sua utilização racional, bem como sua disponibilidade permanente, a partir da manutenção da qualidade de águas.

Há que levar-se em consideração, também, a Lei Estadual N.º 7.871 de 20 de julho de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, onde no seu artigo 1º estabelece as diretrizes de ordenamento territorial do Litoral Oriental, em conformidade com a Lei Estadual n.º 6.950/96 (que institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro).

O Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental, de acordo com o artigo 2º da Lei Estadual mencionada anteriormente, tem como objetivo orientar a implantação das atividades socioeconômicas e as condições de uso e ocupação do solo da Região, sendo definido de acordo com as características e limitações físico-ambientais e expresso na setorização do espaço geográfico, de forma a garantir a sustentabilidade da Zona Costeira.

Ainda esta Lei, estabeleceu que o Litoral Oriental do Estado é dividido em duas Zonas: Zona Interior Costeira (ZIC) e Zona Especial Costeira (ZEC) , definidas nos Artigos 6º, 8º e 9º:

Art. 6º. A Zona Interior Costeira (ZIC) caracteriza-se pelo uso predominantemente agrícola, correspondendo às áreas canavieiras e aos tabuleiros costeiros ocupados pela pecuária e agricultura.

Art. 8º. A Zona Especial Costeira (ZEC) compreende as unidades ambientais legalmente protegidas e aquelas que, por suas características físicas, restringem o uso e a ocupação do solo, bem como dos espaços urbanizados e de expansão.

Art. 9º. Para efeito desta Lei, a Zona Especial Costeira (ZEC) subdivide-se em Áreas de Preservação (APs) e Áreas Urbanizadas e de Expansão Urbana (AUEs), conforme discriminação abaixo:

I - Consideram-se Áreas de Preservação (APs) as unidades ambientais abaixo relacionadas:

- a) o Manguezal em toda a sua extensão;
- b) a Mata Atlântica;
- c) a Mata Ciliar;
- d) os arrecifes e pontais;
- e) as falésias;
- f) as nascentes dos corpos d'água de superfície, lagoas e demais mananciais;
- g) as dunas, com cobertura vegetal;

h) as dunas sem cobertura vegetal, julgadas de importância ambiental pelo órgão competente, tendo por base estudos técnicos;

i) as praias;

j) os sítios arqueológicos;

k) recifes de corais e de arenito.

II - São consideradas Áreas Urbanizadas e de Expansão Urbana (AUEs) os núcleos urbanos localizados na Zona Especial Costeira (ZEC) e demais sedes municipais localizadas na Zona Interior Costeira (ZIC), delimitadas ou não por legislação municipal.

§.1º. Para efeito desta Lei, na unidade ambiental especificada na alínea c do inciso I deste artigo, considera-se uma faixa mínima de preservação de 50 (cinquenta) metros, a partir do leito maior sazonal, medida horizontalmente.

## 1.2 GEOMORFOLOGIA E ANÁLISE AMBIENTAL

A Geomorfologia é a ciência que trata de aspectos físicos da superfície terrestre, como a classificação, descrição, natureza e origem das formas de relevo (SILVA, 2001), através da qual pode ser discutida a evolução da paisagem sob a ótica do meio na qual está inserida.

Todavia, a análise ambiental é uma área de estudo interdisciplinar na qual a geomorfologia tem por objetivo fornecer importantes subsídios (ALMEIDA, 1986). Por isso, estudos geomorfológicos estão cada vez mais sendo aplicados na identificação das características morfodinâmicas em áreas sensíveis, em detrimento da expansão urbana desordenada, como alterações na geometria, quantidade e qualidade dos ecossistemas existentes nessas áreas, contribuindo para uma melhor ordenação do território e consequentemente ações no planejamento urbano e ambiental.

A importância dessa temática é evidenciada pelos exemplos de estudos geomorfológicos em zonas urbanas. Mello et. al. (2013) analisaram a dinâmica temporal da urbanização do município de São Vicente, associando dados de uso e ocupação da terra com dados dos ciclos econômicos e políticas públicas regionais, com a finalidade de subsidiar o planejamento urbano e territorial das cidades litorâneas. Já em Natal, existem artigos como: Amaral et. al. (2005), que analisaram a importância e o estado de conservação do sistema geomorfológico e hidrogeológico da cidade do Natal, por meio de indicadores como mudanças no relevo, no sistema hídrico superficial (lagoas) e subterrâneo (Aquífero Dunas/Barreiras); Lisboa; Campos; Souza (2011), que identificaram os remanescentes de dunas do Natal, por meio de mapeamento, caracterização das intervenções antrópicas e elaboração de estratégias de preservação e de uso e ocupação desse recurso natural característico do Município. Medeiros (2001), estudou a evolução geomorfológica, a (des)caracterização e as formas de uso das lagoas da Cidade do Natal-RN, fornecendo

informações ambientais com grande relevância para o município. Os trabalhos citados foram realizados com o auxílio de dados altimétricos, produtos de sensores remotos orbitais e suborbitais, além de contribuir significativamente para a realização deste trabalho.

### 1.3 GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS AMBIENTAIS E URBANOS

Geotecnologias podem ser compreendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e áreas afins, responsáveis por trazerem avanços expressivos em vários ramos do conhecimento como no desenvolvimento de pesquisas, no planejamento de ações, em processos de gestão e manejo, dentre diversos aspectos relacionados com a estrutura do espaço geográfico, por isso, em virtude da sua funcionalidade a tendência é que seu uso aumente cada vez mais mundialmente (FITZ, 2008).

Dentre as geotecnologias destacam-se o Sensoriamento Remoto, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), a Geodésia, a Topografia Clássica, a Aerofotogrametria, a Cartografia Digital e o Sistema de Informações Geográficas. Essas tecnologias dão suporte para a resolução de problemas existentes no âmbito espacial, por exemplo, regular a expansão e o desenvolvimento das cidades, respeitando áreas de importância ambiental.

#### 1.3.1 Geoprocessamento

O Geoprocessamento faz uso de técnicas matemáticas e computacionais, integrando informações espaciais para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, onde estão cada vez mais se destacando nas áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA; DAVIS, 2004).

Inúmeras são as técnicas e os sistemas que compõem o geoprocessamento, dentre os quais o GIS (*Geographic Coordinate Systems*) é o sistema que reúne maior capacidade de processamento e análise de dados espaciais, comumente chamado no Brasil como Sistema de Informações Geográficas (SIG). Já como técnicas; existem diversas, entre as quais: a elaboração e tratamento de Modelo Digital de Terreno (MDT) e a obtenção de mapas por meio de imagens de satélite e aéreas, que por sua vez, necessitam, conforme o objetivo, da utilização do Processamento Digital de Imagens (PDI).

Fernandes & Amaral (2013) cartografaram a zona costeira emersa do litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob o ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de

dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, incluindo o Processamento Digital de Imagens (PDI) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Oliveira & Mattos (2012) aplicaram técnicas de Geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental do Litoral Sul do Rio Grande do Norte.

#### 1.3.1.1 Imagens orbitais e aéreas

Toda paisagem possui uma dada configuração espacial e temporal em função das inter-relações com o meio, onde qualquer modificação que ocorra em seus componentes pode interferir na forma espacial, que também será alterada e uma nova estrutura de paisagem passará a existir, assim, é possível extrair espacialmente de uma paisagem uma grande quantidade de informações, considerando todos os seus aspectos e a complexidade que a envolve (ALTMANN; ECKHARDT; REMPEL, 2009). Uma das técnicas aplicadas para esta extração está relacionada com o mapeamento de áreas.

Diante disso, as fotografias aéreas e as imagens de satélite constituem instrumentos de trabalho indispensáveis para a elaboração de mapas, principalmente temáticos, como por exemplo, os geomorfológicos de boa qualidade, os quais contêm informações necessárias ao monitoramento ambiental, já que retrata a distribuição espacial das formas, materiais e processos (ALMEIDA, 1986).

Para a realização do mapeamento, faz-se necessário o uso da fotointerpretação, que permite a coleta de elementos da superfície contidos nas fotografias aéreas ou imagens de satélite, referentes às áreas de interesse (LUCON et al., 2011). Esses elementos dependerão do objetivo a ser estudado, como ocupação urbana, rios, lagoas, bem como suas margens, inclusive remanescentes de dunas.

#### 1.3.1.2 Processamento Digital de Imagens (PDI)

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é o conjunto de técnicas aplicadas sobre imagens digitais, com o intuito de facilitar a extração de informações, objetivando melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para fornecer subsídios para a sua interpretação (IBGE, 2009).

### 1.3.1.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Um SIG pode ser considerado como um sistema formado por um conjunto de softwares, que integra dados, equipamentos e pessoas, com a finalidade de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar informações geograficamente referenciadas (FITZ, 2008).

A arquitetura destes sistemas possui a incrível capacidade de manusear dados ligados a qualquer lugar no espaço, através da representação de seus elementos em bancos de dados por meio de métodos ou procedimentos computacionais, como por exemplo o MDT, que serve de base para fornecer inúmeras informações que facilitam a tomada de decisão.

Portz et al. (2014) demonstraram a potencialidade do uso de um SIG para o diagnóstico ambiental de dunas, além de evidenciar a importância da integração de dados regionais a este tipo de ambiente, a fim de obter melhores resultados para subsidiar a tomada de decisão e o Gerenciamento Costeiro Integrado no Rio Grande do Sul.

Diante disso, o grande impulso dos SIG's quanto aos estudos ambientais pode ser marcado pela sua aplicação à resolução de problemas referentes a temas como: Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto e Monitoramento Ambiental, Ordenamento Territorial e Prognósticos Ambientais (MEDEIROS; CÂMARA, 2004).

### 1.3.1.4 Modelo Digital de Terreno (MDT)

MDT's são modelos que representam, graficamente, o relevo da superfície terrestre, e essa distribuição é concebida por um sistema de coordenadas XYZ (ASPIAZÚ; ALVES; VALENTE, 1990), sendo considerados instrumentos úteis à compreensão dos processos que ocorrem no espaço geográfico (ARAÚJO; CHAVES; ROCHA, 2013).

A modelagem ou digitalização de dados espaciais pode ser feita por uma rede de pontos na forma de uma grade de pontos regulares e ou irregulares, provenientes da vetorização de dados planialtimétricos, como de cartas topográficas. Diante disso, várias são suas aplicações, dentre elas: cálculo de volumes, áreas, desenho de perfis e seções transversais, perspectivas tridimensionais, geração de mapas de declividade e exposição, apoio à análise geomorfológica, o que contribui para estudos da evolução-espço temporal de áreas, ao verificar a profundidade de um rio ou lagoa e a altura de dunas ao longo dos anos, por exemplo.

Alguns trabalhos já citados, como Amaral et. al. (2005), utilizou para a área de estudo um MDT, obtido a partir de cartas topográficas com escalas originais 1:10.000 e 1:2.000, de

1970, para ressaltar as altitudes mais elevadas do Campo de Dunas do Parque das Dunas e Pirangi/Potengi de Natal, destacando através de perfis selecionados deste modelo, o relevo que sugere os pontos de maior volume de armazenamento de águas pluviais. Além de Lisboa; Campos; Souza (2011), que utilizando valores de cotas numéricas das curvas de nível obtidos por levantamento topográfico do ano de 2006, criaram um MDT como subsídio à identificação das dunas que se encontram em altitudes de 30 até 70 metros acima do nível do mar, com declividade acima de 40%. Ressalta-se Medeiros (2001), que também utilizou um modelo de 1978 de Natal, para que fossem gerados perfis topográficos das lagoas naturais da cidade de Natal, onde se pôde calcular a profundidade das mesmas.

#### 1.4 NOMENCLATURA UTILIZADA

Neste trabalho optou-se por utilizar a denominação “ocupação urbana” como a representação das edificações, pavimentos, ruas ou estradas, ou seja, feições essas que possam ocasionar a impermeabilização do solo na cidade, caracterizando um ambiente modificado e construído pelo homem.

Araújo et al. (2007) utilizaram o termo ocupação urbana para observar a presença, ou não, de edificações no ambiente praial.

A ocupação urbana causa modificações no padrão de escoamento das águas pluviais na bacia, ou seja, à medida que áreas com superfícies naturais vão sendo impermeabilizadas, os processos de infiltração e retenção da água vão reduzindo na bacia, causando aumento significativo dos deflúvios superficiais nas áreas situadas a jusante. Além disso, há o risco com que a água escoada superficialmente entra em contato com diversos tipos de poluentes, comprometendo a sua qualidade, e conseqüentemente quando lançada no corpo d’água receptor, pode contaminar rios, lagos ou aquíferos subterrâneos (RIGHETTO, 2009).

Foi utilizada a denominação de “Lagoa” como depressão com forma variada, contendo ou não água, de origem natural ou artificial.

A Lagoa artificial foi considerada neste trabalho, como área de depressão (em sua maioria natural que foi aproveitada) escavada, às vezes cercada por taludes de terra ou equipamentos de contenção, com a função de drenar águas pluviais da área instalada. Denominada como lagoa ou trincheira de infiltração das águas pluviais localizada nos baixios de uma bacia de drenagem urbana, é considerada como uma medida estrutural de retenção temporária do escoamento, podendo-se promover o tratamento da água (RIGHETTO, 2009).

## CAPÍTULO II

### 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na cidade de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 01). Natal está situada no litoral oriental da região Nordeste brasileira. Possui uma altitude média de 40 metros, apresentando uma população de 803.739 habitantes, com uma área de 167,263 Km<sup>2</sup>, densidade demográfica 4.805,24 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), 36 bairros e está subdividida nas regiões administrativas norte, sul, leste e oeste. Esta área de estudo foi escolhida de forma que representasse bem as características naturais e problemas sócio-espaciais de Natal, de acordo com os seguintes critérios: adensamento populacional, concentração de Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e pressão imobiliária intensa. Tem o formato de um polígono com seu contorno superior definido pela coordenada 9355840,984 m e inferior limitado pela fronteira do município de Natal com o de Parnamirim, que coincide com o canal do Rio Pitimbú. Os limites leste e oeste são definidos pelas coordenadas 255469,523 m e 249678,762 m, respectivamente, resultando em 3012 ha de área.

Na área de estudo estão inseridos os bairros: Pitimbú, Candelária, Neópolis, parcialmente Lagoa Nova e Capim Macio, ambos na Zona Sul e, Cidade Nova, e parcialmente Cidade da Esperança, Planalto, Guarapes e Felipe Camarão, ambos na Zona Oeste. Nos bairros citados existem áreas de grande importância ambiental para a cidade, como a ZPA 03 e o rio Pitimbú (bairro Pitimbú) (manancial superficial que contribui com o abastecimento de água doce de 30% da Região Metropolitana de NATAL e a Lagoa do Jiqui), a presença do campo dunar dos bairros de Pitimbú e Candelária (ZPA 01), principal área de recarga do aquífero subterrâneo, que garante a demanda de água da cidade (aquífero Dunas/Barreiras), além de parte da ZPA 04 constituída de campo dunar dos bairros Planalto e Guarapes e a concentração de lagoas e remanescentes de dunas presentes na área estudada, todos importantes para a drenagem das águas pluviais e abastecimento do lençol freático.

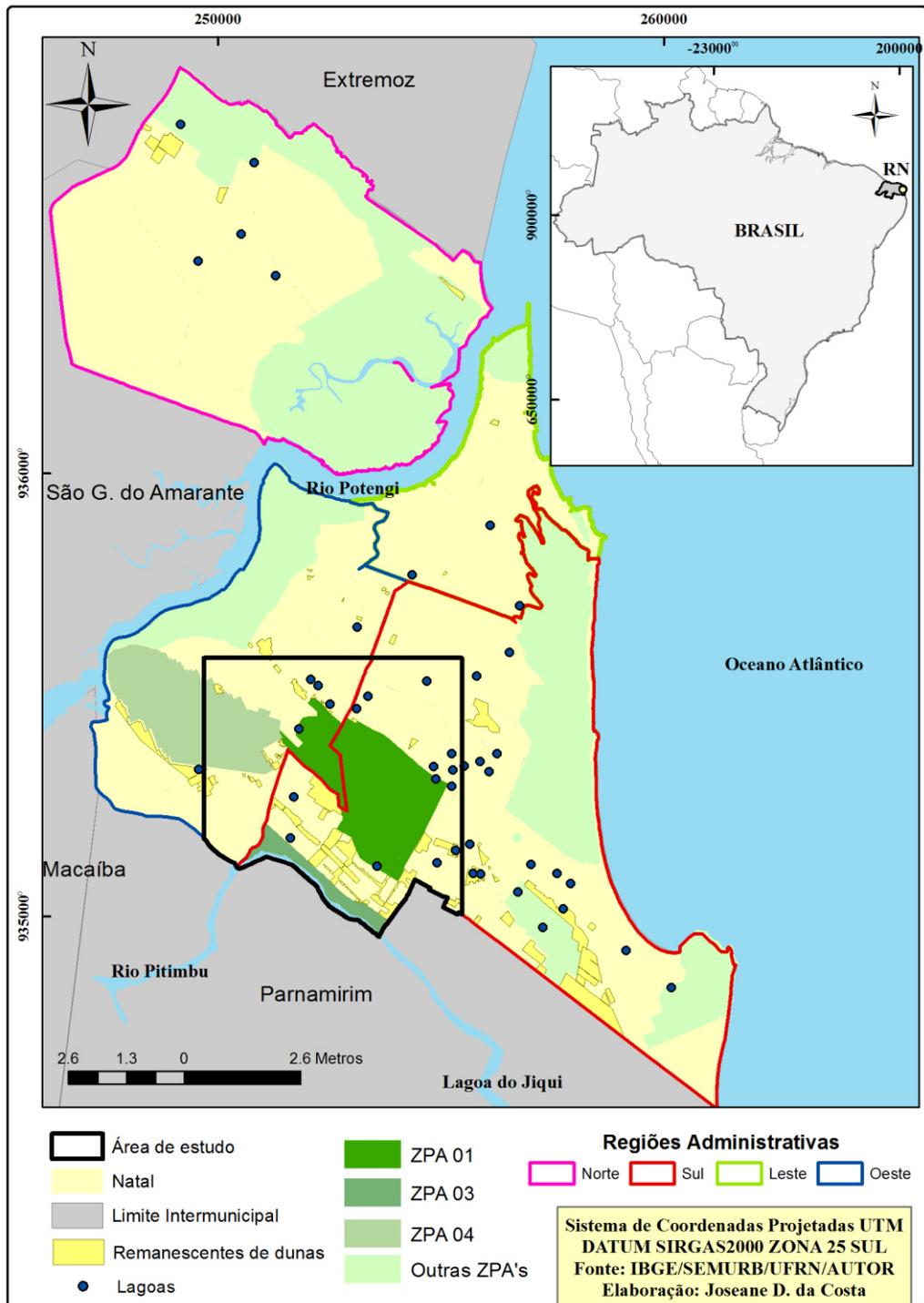


Figura 01. Localização da área de estudo no município de Natal (Escala de detalhe).  
Fonte: AUTOR (2014).

## 2.1 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

### 2.1.1 Clima

O município de Natal está situado numa zona de transição entre os tipos climáticos As<sup>w</sup> - quente e úmido, devido as elevadas precipitações pluviométricas que o caracteriza, com

chuvas de outono-inverno e verão seco, segundo a classificação de Köppen (NOGUEIRA, 1981), considerado como tropical chuvoso. A precipitação pluvial anual tem valor máximo de 2462 mm e mínimo de 640 mm, com média de 1550 mm (período 1910-2000), além de temperaturas médias mensais anuais que variam de 25°C a 28°C, com média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9 °C (RIGHETTO; ROCHA, 2005). Um dos elementos climáticos de maior importância para a alimentação das lagoas na cidade de Natal é a precipitação pluviométrica (MEDEIROS, 2001).

Em geral, as precipitações em Natal estendem-se de março a agosto, quando os totais mensais, em média, excedem os 100 mm. Outubro, novembro e dezembro são os meses mais secos, com total de precipitação, em média, abaixo de 40 mm.

Devido às características pedológicas da região de Natal, formada por areias-quartzosas de origem marinha, e dependendo da intensidade e período da precipitação, podem as águas escoar superficialmente e acumularem-se nas porções mais baixas, porém, estas são imediatamente infiltradas no solo. Nas ocasiões em que o lençol freático encontra-se muito superficial e o solo já se apresenta saturado, há a possibilidade da formação de lagoas de surgência ou temporárias (SEMOPI, 2009).

### **2.1.2 Hidrografia**

Natal está inserida nas bacias hidrográficas dos rios: Potengi, Doce e Pirangi, além de possuir um complexo de lagoas naturais e artificiais.

A terceira maior bacia hidrográfica do Estado é do rio Potengi, com 4093 Km<sup>2</sup>, equivalente a 7,7% do território Estadual e com capacidade de armazenamento de 34.000.000 m<sup>3</sup> de água, a qual tem como rio principal o rio Potengi, que por sua vez, nasce em Cerro Corá, na Serra de Santana, além de desaguar no Oceano Atlântico em Natal, formando o maior estuário do estado (NATAL, 2010), o “estuário Potengi/Jundiaí”.

A bacia do rio Doce é composta pelos rios Guajiru e Mudo, os quais abastecem a Lagoa de Extremoz, onde a sua desembocadura forma o rio Doce (NATAL, 2010), de pequeno porte, e divide os municípios de Extremoz e Natal, que corre sobre os sedimentos quaternários de dunas e aluviões até desembocar no estuário.

Diante da realidade, os mananciais superficiais são os que mais sofrem com o padrão de ocupação existente em grandes cidades, como a área de estudo em questão, em decorrência da infraestrutura existente para o correto uso dos mesmos, por uma população cada vez maior, ocasionando a supressão de seus recursos hídricos a cada dia.

Faz parte da área de estudo o trecho do Rio Pitimbú inserido em Natal, de aproximadamente 4 km de comprimento (principal afluente da bacia do Pirangi, que tem como área 460 Km<sup>2</sup>, e é protegido pela Lei 8.426 de novembro de 2003), está situado ao sul, é de menor porte, drenando suas águas para Parnamirim, onde acumula, principalmente, suas águas na Lagoa do Jiquí, estando encravado nos sedimentos da Formação Barreiras, do tipo perene, sendo alimentado por ressurgência de águas subterrâneas dessa formação geológica (MEDEIROS, 2001). O Rio Pitimbú responde, atualmente, por cerca de 30% do abastecimento das zonas Sul, Leste e Oeste de Natal. No entanto, segundo a secretária executiva do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pitimbú, Laélia Lima, ele sofre hoje com a degradação ambiental, que ameaça o curso e a qualidade da água (ESP NOTÍCIA, 2010). Em função da ocupação desordenada o rio apresenta problemas de poluição e assoreamento (SEMOPI, 2009).

De toda a bacia hidrográfica do Pirangi, o rio que possui maior relevância para a drenagem de Natal, Rio Pitimbú. O Rio Pitimbú serve inclusive, em alguns trechos, como referência natural dos limites político-territorial entre os municípios de Macaíba, Parnamirim e Natal.

As lagoas consideradas como foco desse estudo foram as depressões com forma variada, contendo ou não água, de origem natural ou artificial, sendo algumas originadas do afloramento de águas subterrâneas provenientes do aquífero Dunas/Barreiras e alimentadas principalmente pelas precipitações pluviométricas, como a Lagoa do Makro, no bairro Neópolis, Lagoa da ZPA 1 e Lagoa Nova Cidade em Cidade Nova. Além da Lagoa Nova, alterada irreversivelmente, hoje artificializada e denominada por Lagoas do centro administrativo, resultando este conjunto na área de estudo em 2013 com 36 lagoas, onde 6 desapareceram e 12 são artificiais.

O sistema hídrico subterrâneo do município é formado pelo Aquífero Dunas/Barreiras, o qual ocupa uma área de 114 km<sup>2</sup> (zona norte com 24 km<sup>2</sup> e zona Sul com 90 km<sup>2</sup>, em relação ao rio Potengi) e como sistema de recursos hídricos, contêm poços de captação, lagoas fontes e cursos d'água de superfície (RIGHETTO; ROCHA, 2005); este aquífero tem forte conexão hidráulica com a superfície, pois funciona como um sistema hidráulico único (MELO, 1995), tornando-se vulnerável às pressões antrópicas em meio urbano. Inclusive, na área de estudo está inserida a principal área de recarga deste aquífero subterrâneo, que garante a demanda de água da cidade.

A precipitação média anual registrada no município de Natal no período de 1984 – 2007 foi de 1.704,7 mm. Neste período, a menor precipitação anual ocorreu no ano de 1993,

quando ocorreu apenas 858,2 mm de precipitação, enquanto que a maior precipitação se deu no ano de 2004, quando 2.446,1 mm precipitaram-se sobre a região em estudo em 187 dias. Porém, a maior precipitação anual registrada na cidade do Natal foi de 3.510,9 mm, ocorrido no ano de 1973 (EMPARN, 2008).

### **2.1.3 Geologia e Geomorfologia**

Natal encontra-se na chamada zona costeira brasileira, que por sua vez, abriga em toda a sua extensão uma gama imensa de ecossistemas de alta relevância ambiental, como por exemplo: estuários, lagoas, restingas, dunas, falésias, baías, recifes, corais, praias, planícies, dentre outros.

É formada por depósitos eólicos Quaternários, denominados dunas, que constituem campos de solo não consolidado proveniente de material quartzoso da plataforma continental (LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011), sobrepostas à Formação Barreiras.

Os solos da Região Metropolitana de Natal são oriundos dos períodos Quaternário e Terciário na escala geológica. No caso específico do município de Natal, os solos do Quaternário são de formação mais recente e encontrados, principalmente, sobre as formações dunares, recebendo a denominação de Areias Quartzosas Marinhas, por terem sido transportados do oceano para o continente por efeito da atuação dos ventos. Durante o Quaternário, foram formados ainda os Solos Aluviais, Solos Gleis e os Solos de Mangues. Em se tratando do período Terciário, os solos estão diretamente relacionados à estrutura geológica local (Formação Barreiras) que deu origem a uma variedade de solos areno-argilosos, como os Latossolos, as Areias Quartzosas Distróficas e os Podzólicos, todos resultantes da atuação do clima úmido com intensas precipitações e ventos constantes (NUNES, 2000).

A dinâmica morfológica do relevo é resultante de processos endógenos, associados a fenômenos geológicos, como os movimentos tectônicos de abaulamento e falhamento, além dos processos exógenos, principalmente pela ação dos agentes climáticos e corpos d'água (SEMOPI, 2009).

A região apresenta três unidades fisiográficas homogêneas associadas: Domínio Geoambiental das Planícies Sedimentares (Superfície de Tabuleiros ou Tabuleiros Costeiros, e nela encontram-se as planícies médias e baixas, tendo na sua base a Formação Barreiras, podendo estar ainda recoberto por Dunas parabólicas ou Dunas longitudinais e incisivas em alguns locais por Vales Fluviais); Domínio Geoambiental Fluvio-marinho (áreas de baixa topografia e estrutura, com valores costeiros que estão limitados pelas dunas e pela planície

sedimentar) e o Domínio Geoambiental Litorâneo-eólico (complexo de Dunas e Lagoas costeiras, Dunas parabólicas recentes, longitudinais, arrasadas e Planície de Deflação com Areias Quartzosas Marinhas) (NUNES, 2000). Por sua vez, estas áreas estão sob influência constante da maré e do nível hidrostático dos lençóis subterrâneos, como exemplos o estuário do Rios Jundiá/Potengi, Rio Jaguaribe, Rio Pitimbu e das lagoas de Extremoz e Jiqui.

Em decorrência da superficialidade do lençol freático na Planície de Deflação a sua ocupação é inapropriada, transformando-se no período chuvoso, numa área de formação de diversas lagoas (NUNES, 2007).

Natal, em uma escala geral, está assentada sobre duas principais unidades geomorfológicas: os Tabuleiros e as Planícies, ocorrendo uma série de compartimentos de relevo associados a estes e formados posteriormente. Assim, faz parte também da área de estudo:

- **Tabuleiros Costeiros:** relevo de forma natural tabular suportada por sedimentos areno argilosos, em camadas subhorizontais, sobreposta a formações geológicas mais antigas (AMARAL et. al., 2005), sendo verificados na ZPA 04 e em quase todo o município, a menos quando sofre alterações em sua forma, como descontinuidades em decorrência de vales ou recobrimento por sedimentos eólicos derivados da Planície Costeira.

- **Dunas:** feições geomorfológicas, oriundas de depósitos sedimentares arenosos de origem recente, onde as dunas do Litoral Oriental iniciam na zona de praia, como dunas primárias não vegetadas e avançam para o continente, primeiro como dunas parabólicas não vegetadas e em seguida, como dunas parabólicas vegetadas, tendo estas vegetadas a capacidade de receptor e conduzir grande quantidade de águas pluviais para armazenamento nos mananciais subterrâneos (AMARAL et. al., 2005), como nas ZPA's 01 e 03, onde estão em constante modificação devido ao progressivo estiramento para as formas mais alongadas, contribuindo para a formação de Corredores Interdunares, com colorações geralmente brancas, amarelas e vermelhas, a depender da sua idade e associação dos sedimentos com outros minerais. As dunas mais antigas foram dispersas, sendo parte das depressões existentes na superfície subjacente preenchidas por seus sedimentos, passando a ser plana.

- **Remanescentes de dunas:** a área de estudo possui 22 remanescentes de dunas, as quais não estão integradas às ZPA's, onde a maioria está sujeita à grande pressão urbana, estando 13 no entorno das Zonas 01, 03 e 04 e mantêm características semelhantes a elas, devendo ser incorporados, sendo as regiões administrativas Sul e Oeste as que possuem maior concentração dessas feições, inclusive as mais conservadas, como também parcialmente (em

decorrência de impactos ambientais, como corte de feições para a construção de acessos, habitações, retirada de areia de sopés, juntamente com desmatamento da vegetação nativa, o que facilita a erosão do solo; e utilização de algumas áreas como locais de deposição de lixo como resíduos da construção civil), cabendo ressaltar a preocupante pressão imobiliária no entorno dessas dunas, pois muitas se encontram ao redor de vários condomínios habitacionais em expansão, enquanto outras são colonizadas por habitações precárias (LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011).

**-Corredores Interdunares:** feições geomorfológicas presentes entre flancos das Dunas, com topografia plana a suavemente côncava, sendo possível observar, em alguns locais, a presença do afloramento das águas do aquífero livre, formando Lagoas Interdunares, perenes e intermitentes (MEDEIROS, 2001), também presentes na ZPA 01.

Deste modo, os Tabuleiros Costeiros, as dunas, e as lagoas interdunares, são as unidades geomorfológicas, juntamente com os rios Potengi e Pitimbu, mais importantes e ambientalmente pressionadas na cidade do Natal (AMARAL et al., 2005).

## 2.2 ASPECTOS AMBIENTAIS

### 2.2.1 Zonas de Proteção Ambiental inseridas na Área de Estudo

Em Natal as Zonas de Proteção Ambiental são 10, localizadas em vários bairros, conforme o Plano Diretor da cidade, sendo as que estão inseridas na área de estudo são as seguintes (Figura 02):

**ZPA 01** - Campo Dunar dos bairros de Pitimbu, Candelária e Cidade Nova, regulamentada pela Lei Municipal Nº 4.664, de 31 de julho de 1995) - Principal área de recarga do aquífero subterrâneo, que garante a demanda de água potável da cidade, além de proteção da flora e fauna das dunas;

**ZPA 03** - Área entre o Rio Pitimbu e Avenida dos Caiapós (Conjunto Habitacional Cidade Satélite - Regulamentada pela Lei Municipal Nº 5.273, de 20 de junho de 2001) - Parte da bacia hidrográfica do Rio Pitimbu, com solo fértil nas margens, caracterizadas por feições de terraços e vertentes com dunas sobrepostas. Dentre outras funções, destaca-se o suprimento de água doce para a Lagoa do Jiqui;

**ZPA 04** - Campo Dunar dos bairros Guarapes e Planalto (Regulamentada pela Lei Municipal Nº 4.912, de 19 de dezembro de 1997) - Cordões de dunas de relevante beleza cênico-

paisagística da cidade, em virtude dos contrastes de relevo com o tabuleiro costeiro e o estuário do Rio Potengi. Tem importância de minimização do escoamento pluvial.

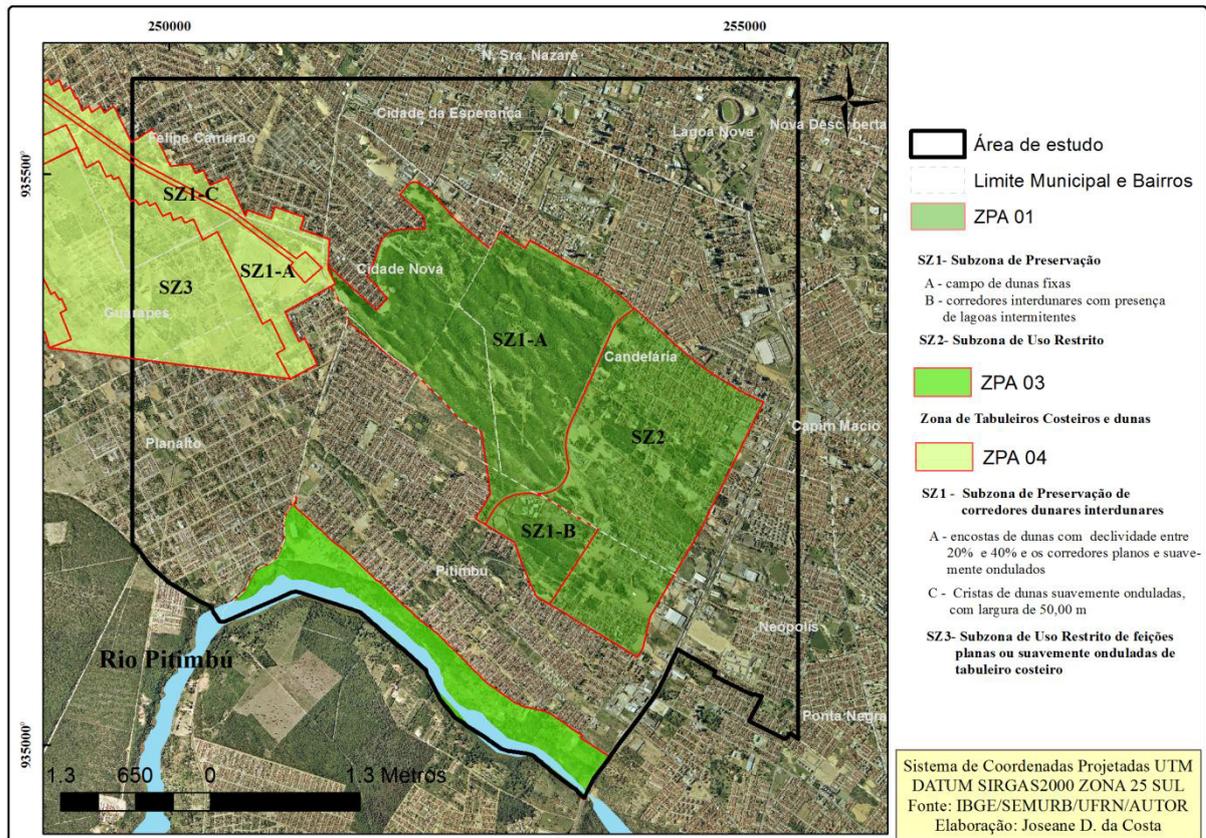


Figura 02. Zonas de Proteção Ambiental inseridas na área de estudo.  
 Fonte: AUTOR (2014).

## 2.3 EVOLUÇÃO URBANA DA CIDADE DO NATAL

### 2.3.1 Início dos loteamentos e eixos de indução

No contexto da chamada União das Coroas Ibéricas (1580-1640), as Cartas Régias do Rei Felipe II determinaram a concreta ocupação da Capitania do Rio Grande. Foi a partir de tais determinações que, em 6 de janeiro de 1598, teve início a construção da Fortaleza dos Reis Magos (marco inicial da colonização portuguesa nas Terras Potiguares) e, no ano seguinte, mas precisamente em 25 de dezembro, Natal foi fundada, por isso a sua denominação, em decorrência da festa de nascimento do Senhor.

A formação da cidade ocorreu nas imediações da atual Praça André de Albuquerque, no centro da Cidade Alta (primeiro bairro da capital Potiguar), próximo às margens do rio

Potengi. Nessa região surgiu, na data magna da cristandade, um pequeno povoado que daria origem a Natal (à princípio povoação dos Reis).

Além disso, a sua formação urbana não fugiu à regra geral como modelo colonial, considerando que seu crescimento espontâneo foi orientado e induzido por suas elevações, acidentes geográficos e físicos, caracterizado por ruas estreitas, terrenos acompanhando as curvas de nível das elevações, na intenção de facilitar, em caso de defesa, a ajuda mútua entre os moradores, já que a fundação da cidade foi com o objetivo militar de impedir indesejáveis invasores e garantir a posse colonial definitiva (MIRANDA, 1999).

Durante a época da dominação holandesa no Rio Grande, entre 1633 a 1654, a cidade sofreu várias transformações em seu cenário urbano, em sua maioria, provocadas por distúrbios com os índios, portugueses e naturais por ataques e incêndios, evidenciando as ações antrópicas desde o princípio no litoral.

A expansão demográfica e urbanística da cidade, nos primeiros séculos de ocupação, foi inexpressiva. Porém, os melhoramentos ocorreram na transição do século XIX para o XX, conforme os republicanos alocavam Natal nos trilhos da modernidade prometida pela nova forma de governo.

Assim, os eixos de indução de crescimento de Natal se deu primeiro no sentido da zona Leste, em seguida Sul e Oeste, quase que simultaneamente, e por último Norte. Deste modo, a área de estudo compreendeu as duas segundas regiões administrativas (sul e oeste) a se expandirem, sendo o bairro Lagoa Nova o primeiro da zona sul em 1947, onde era o caminho de ligação entre o centro de Natal e a base aérea de Parnamirim Field, estrada construída durante a Segunda Guerra Mundial, além de ser vista por natalenses nos anos 60, por terra distante. Entretanto, a marcha expansionista, em parte, acelerada no pós-guerra, modifica a paisagem do bairro, onde foram construídos conjuntos habitacionais, o Estádio Machadão, o Centro Administrativo do Estado já na década de 1970, o Campus Central da UFRN e residências de alto padrão (SEMURB, 2010).

Já o bairro Cidade da Esperança (zona oeste), foi originado devido a construção do primeiro Conjunto habitacional da capital Potiguar, Cidade da Esperança, que surgiu em decorrência de milhares de imigrantes oriundos do interior do Estado em meados da década de 1960. A construção da Cidade da Esperança contribuiu para que o bairro Cidade Nova fosse desenvolvido no final dessa mesma década, onde surgiram os primeiros moradores, com características humildes, chegando a capital do estado à procura das áreas mais distantes do centro, para construir seus casebres e, assim, poder dá um teto para suas famílias (essa baixa

renda favoreceu a indústria do lixo no local), logo, esta região passou a ser mais ocupada aceleradamente.

Na década de 1970, a zona sul torna a se desenvolver com o surgimento dos bairros Capim Macio, Candelária e Neópolis, por meio de conjuntos habitacionais, simultaneamente ao bairro Felipe Camarão que fica na zona oeste. Parte de Capim Macio foi base de treinamento para o exército, e como fatores de sua formação tiveram a construção da pista Parnamirim, conjunto habitacional Mirassol, além da UFRN. Candelária teve seu conjunto entregue em 1975, construído sobre as “desérticas” dunas do passado, onde este bairro guarda a história da expansão urbana de Natal. Neópolis foi considerada naquela época de o “fim de Natal”, devido à dificuldade de transporte e a distância do centro da cidade ao conjunto. Já Felipe Camarão surgiu de um loteamento chamado Reforma, criado pelo dono da empresa Gema (a região era constituída de granjas e fazendas), devido um sinal de alerta ao pela ocupação de terras “vazias” por imigrantes.

Por fim, Pitimbu (zona sul) e Planalto e Guarapes (zona oeste), foram os últimos bairros a se desenvolverem. Pitimbu era a área rural de Natal, região de sítios, fazendas e áreas de mata, e surgiu com a construção do conjunto Cidade Satélite em 1983, o que acelerou a expansão de sua ocupação, sendo oficializado em 1993. Cabe ressaltar a sua importância para o município, pois além de ter o Rio Pitimbú, guarda em seu solo o aquífero essencial para a vida dos natalenses, porém, o bairro não possui a infraestrutura básica necessária para garantir a qualidade das águas, seja ela subterrânea ou superficial, como também saneamento. Já o Planalto é um dos bairros mais novos de Natal, criado em 1998, porém sua área antes era constituída de pequenas granjas, onde se desenvolviam atividades agropecuárias, as quais forneciam mercadorias para a cidade. Guarapes também só se estruturou com ruas bem traçadas e casas de alvenarias na década de 1980. Esses dois bairros também foram influenciados pelo loteamento Reforma.

Portanto, com a deflagração da Segunda Guerra Mundial, a posição estratégica da cidade e a utilização da Base Aérea de Parnamirim pelos Aliados, atraíram considerável fluxo migratório responsável por acelerado, embora fugaz, crescimento demográfico e econômico. Após a guerra, Natal retomou seu ritmo pacato e, nas décadas posteriores, o planejamento urbano avançou atingindo seu ápice em 1974, com a elaboração do primeiro Plano Diretor do Natal. Já nas décadas finais do século XX, o desenvolvimento do município atraiu substancial migração para a denominada Região Metropolitana de Natal, cuja população, a partir de 2000, ultrapassou um milhão de habitantes (ANUÁRIO NATAL 2007, 2008).

## CAPÍTULO III

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DEFINIÇÃO DA BASE DE DADOS

O crescimento urbano deve ser determinado, preferencialmente, utilizando o máximo de dados possíveis, para que assim seja gerada uma série histórica representativa (XAVIER; BASTOS, 2010). Por isso, o presente trabalho fez uso de dados cartográficos dos seguintes anos da cidade do Natal: 1969, 1978, 1979, 2006 e 2013, pois após cuidadosa busca por dados cartográficos, foram estes todos os dados aceitáveis encontrados.

Diversas são as fontes de dados que podem ser utilizadas no mapeamento e avaliação da evolução espacial urbana. Em se tratando de dados espaciais, podem estar disponíveis tanto em formato raster (matricial) como vetorial.

Os dados vetoriais da cidade do Natal, todos obtidos em formato *shapefile*, utilizados neste trabalho tiveram como fonte fotografias aéreas de 2006 com resolução espacial de 5 metros. Foram utilizados os planos de informação de plantas de loteamentos e arruamentos (obtidos em SEMURB, 2008), remanescentes de dunas (obtidos em LISBOA; CAMPOS; SOUZA, 2011), limite Municipal e Zonas de Proteção Ambiental – ZPA's (obtidos em SEMURB, 2008), e curvas de nível com equidistância de 5m (obtidas em SETUR/SIN/IDEMA, 2006).

As fotografias aéreas, imagem de satélite e dados de altimetria e planimetria utilizados são apresentados no Quadro 01.

Quadro 01. Dados *raster* utilizados na elaboração dos Planos de Informação (PI's) deste trabalho.

Ano	Produto	Escala original	Qualidade da digitalização/ Resolução espacial	Natureza	Origem	PI's gerados	Maior escala de trabalho
1969	Fotografia aérea	1:70.000	600 dpi	analógica	UFRN/Dep. de Geologia	Vetorização das classes	1:30.000
1978	Mapa altimétrico e planimétrico	1: 2.000	600 dpi	analógica	UFRN/Dep. de Geologia	*MDT: área de estudo	1:10.000
1979	Fotografia aérea	1: 40.000	600 dpi	analógica	UFRN/Dep. de Geologia	Vetorização das classes	1:30.000
2006	Fotografia aérea	1:25.000	5 m	digital	SETUR/SIN /IDEMA**	Vetorização das classes	1:30.000
2013	Imagem do Google Earth	Escala de captura da imagem 1:1.685***	16 m	digital	Google Earth PRO/SEMURB****	Vetorização das classes	1:30.000

\* SETUR/SIN/IDEMA. Secretaria de Estado do Turismo do Rio Grande do Norte. Secretaria de Estado de Infra-Estrutura. PRODETUR/IDEMA.

\*\* MDT: Modelo Digital de Terreno.

\*\*\*Captura da imagem a partir do quarteamento da Articulação das Ortofotocartas do Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Natal, realizado em 2006.

\*\*\*\*SEMURB: Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo do Natal.

### 3.2 EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL: METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para a análise espaço-temporal foram aplicadas as ferramentas de geoprocessamento, por meio dos softwares: ArcGis 10®, Gimp2, Picasa e Google Earth®, verificando as mudanças ocorridas nos últimos 40 anos da área de estudo com base no uso e ocupação do solo, nas mudanças no relevo (geomorfologia), com ênfase nas dunas e remanescentes, e nas modificações no sistema de lagoas e rios (sistema hídrico superficial).

O fluxograma da metodologia (Figura 03) sumariza os procedimentos, os quais são descritos a seguir.

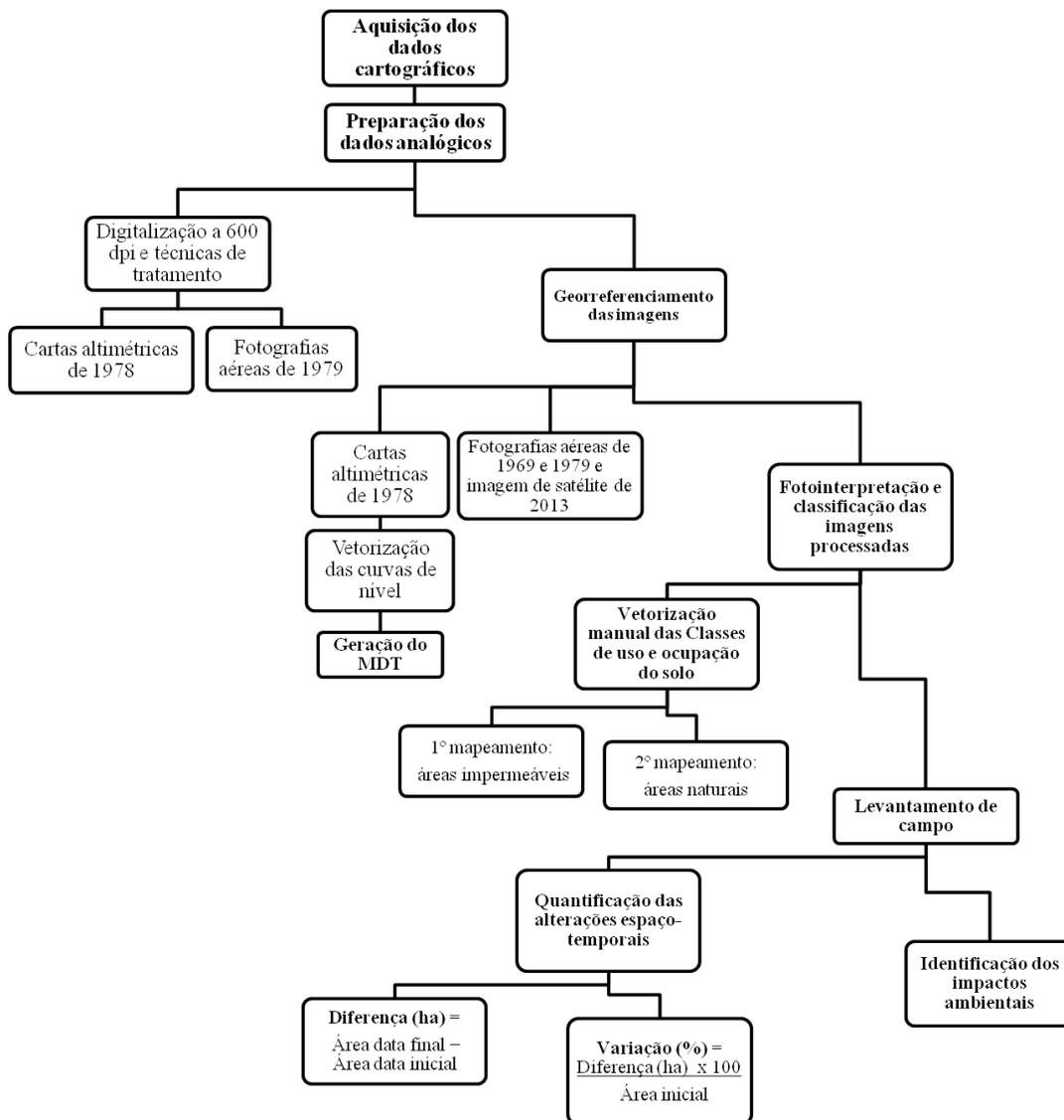


Figura 03. Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.  
Fonte: Autor (2014).

### 3.2.1 Preparação dos dados analógicos

A preparação dos dados de altimetria para a conversão em modelos de elevação do terreno (MDT) e das imagens aéreas, necessitou da aplicação de filtros e técnicas de tratamento para se obter uma melhor detecção das feições terrestres, como será descrito a seguir.

As cartas altimétricas de 1978 (utilizadas para geração do MDT) foram adquiridas em meio digital no formato *raster* (extensão “tif”). Estas cartas foram digitalizadas, anteriormente, a partir de cópias em papel vegetal. A partir destas cópias, em formato *raster*, foram realizados os seguintes procedimentos no software Gimp 2.8 (GIMP, 2014) (código aberto): rotação, recorte, ajuste de contraste automático e do limiar de cores, além da

transformação da imagem para modo indexado-paleta de 1 bit e utilizado o método de Floyemberg (perda de cores reduzida), com isso a imagem passou a ter duas cores, assim, após todo o procedimento, as cartas foram exportadas e salvas no mesmo formato “tif”, o que facilitou a vetorização semiautomática das curvas de nível posteriormente.

As imagens de 1978 com curvas de nível, foram, então, vetorizadas pelo método semiautomático, utilizando-se a extensão ArcScan do ArcMap 10.1 (ESRI, 2012) e salvas como arquivos vetoriais de linhas. As curvas de nível da cidade de Natal, obtidas a partir de imagens de 2006 (IDEMA, Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Natal, 2006), já foram obtidas como arquivos vetoriais de linhas. No primeiro caso a equidistância entre as curvas de nível foi de 1 metro, já no segundo foi de 5 metros.

Optou-se por transformar os arquivos vetoriais de linhas por arquivos vetoriais de pontos, ainda no ArcMap 10.1 (ESRI, 2012), e só então se procedeu o processo de interpolação, como será explicado mais adiante.

Por outro lado, as fotografias aéreas do ano de 1979, com escala aproximada de 1:10.000, foram adquiridas em papel, sendo digitalizadas na resolução de 600 DPI e salvas em formato JPEG. No Picasa 3 (software gratuito) foram realizados procedimentos básicos como rotação, recorte e ajuste automático de brilho e contraste.

### **3.2.2 Georreferenciamento das imagens**

#### **3.2.2.1 Cartas altimétricas de 1978**

O banco de dados da topografia de Natal do ano de 1978 é composto por cartas altimétricas e planimétricas, sendo esta segunda crucial para o georreferenciamento da primeira, já que na extremidade de cada articulação (subdivisão de ordem de organização das cartas) estão as coordenadas em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum Sad69, que servem como pontos de controle para o registro da base altimétrica.

Assim, após selecionar as articulações da altimetria coincidentes com a área de trabalho, 30 ao todo, as coordenadas (pontos de controle) da planimetria correspondente foram transformadas para Sistema de Coordenadas Projetadas UTM e Datum SIRGAS 2000, na calculadora geográfica on line do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (<http://w.w.w.dpi.inpe.br/calcula/>), pois é o Datum oficial no Brasil e deve ser obrigatoriamente usado desde 2013. Os dados transformados foram armazenados em uma planilha no Excel.

Com o auxílio do ArcMap 10.1, as articulações da altimetria foram finalmente georreferenciadas e exportadas como imagens já georreferenciadas e no formato “img”.

### 3.2.2.2 Fotografias aéreas de 1969 e 1979 e imagem de satélite de 2013

O georreferenciamento das fotografias aéreas e imagens foi feito através de *shapefiles* georreferenciados da área (como arruamento, Limite Municipal e ZPA 01 de Natal), no programa *ArcMap 10.1* (ESRI, 2012), ajustando-se os pontos de controle, sendo o método de ajuste utilizado o *Spline*. A transformação *Spline* é considerada um verdadeiro *rubber sheeting*, processo através do qual uma das camadas é distorcida para que ajuste a outra camada, além disso, melhora a acurácia local em detrimento da global, mantendo a continuidade e suavidade entre um polinômio seccional e os polinômios adjacentes, porém, neste método há uma perda de precisão conforme se distancia do local onde os pontos de controle foram coletados, portanto, quanto mais pontos forem adicionados, maior será a precisão, sendo necessário no mínimo 10 pontos (ESRI, 2012).

Foram adicionados 48 pontos de controle até se conseguir o máximo de exatidão, e ao se conferir o Erro Médio Quadrático (*Total RMS Error*) obteve-se o valor de 0,000135181. O ArcGis Desktop Help 10.1 diz:

*“O erro total é calculado tomando a raiz quadrada da média (RMS): soma de todos os resíduos para calcular o erro RMS. Este valor descreve como a transformação é consistente entre os diferentes pontos de controle (ligações). Todos os resíduos mais próximos a zero são considerados mais precisos. Embora o erro RMS seja uma boa avaliação da precisão de transformação, não confundir um erro de baixo RMS com um registro preciso. Por exemplo, a transformação pode ainda conter erros significativos devido a um ponto de controle mal inserido. Quanto mais pontos de igual qualidade de controle usado, mais precisamente o polinômio pode converter os dados de entrada para as coordenadas de saída.”*

### 3.2.3 Fotointerpretação e classificação das imagens processadas

A identificação e classificação do uso do solo são fundamentais no conhecimento do ambiente, assim como no desenvolvimento de técnicas voltadas para a obtenção e manutenção dessas informações, por isso o mapeamento do uso e ocupação se fez necessário.

#### 3.2.3.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo

Com a finalização das etapas de preparação e sistematização dos dados, foi iniciado o mapeamento do uso e ocupação do solo e das APP's, pelo método de vetorização digital em tela por meio da interpretação visual das fotografias (fotointerpretação) dos anos de 1969,

1979, 2006 e 2013. Foram mapeadas feições do meio físico como lagoas, dunas e remanescentes de dunas e rio Pitimbú, além da ocupação urbana. Embora a escala de vetorização tenha chegado a 1:2000, em feições cuja complexidade geométrica exigiu um traçado mais cuidadoso, o mapeamento final de cada ano foi realizado em uma escala 1:30.000. Esta limitação se deve à resolução espacial de alguns produtos utilizados (ver quadro 02, onde mostra a variação na resolução espacial e sua relação com a precisão cartográfica conforme definição da Associação Cartográfica Internacional (CHUVIECO, 2002)). Já que a melhor resolução dos dados cartográficos utilizados foi de 16 metros, estando esse valor na transição da resolução espacial entre 10 e 20 m, a relação geral mais adequada para a escala de trabalho foi a de 1:30.000.

Quadro 02. Resolução espacial e escala de trabalho.

<b>Resolução Espacial</b>	<b>Escala do Trabalho</b>
0,60 metros	1:2.000
3 metros	1:5.000
5 metros	1:12.000
10 metros	1:25.000
20 metros	1:50.000
30 metros	1:80.000
80 metros	1:200.000
1.000 metros	1:1.500.000

Fonte: Adaptado de Chuvieco (2002).

As classes de uso e ocupação utilizadas foram baseadas em trabalhos como os de Vaeza et al. (2010), Amaral et al. (2007) e Araújo et al. (2002). Estes autores estabelecem critérios para a classificação visual das imagens segundo o uso e ocupação do solo, determinando as classes em uma Bacia Hidrográfica Urbana.

Vaeza et al. (2010) classificam em Florestas, Lagoas, Vegetação Rasteira, Telhados, Ruas e Calçadas, Áreas Permeáveis dentro das Quadras (canteiros, hortas, gramados e jardins, os quais ajudam na infiltração da água no solo), Áreas Impermeáveis Dentro das Quadras (ladrilhos, azulejos e pavimentos, os quais impedem a infiltração, causando redução na recarga da água subterrânea) e telhados. Amaral et al. (2007) definiram as seguintes classes: Ruas e Calçadas, Área permeável dentro dos lotes, Área impermeável dentro dos lotes e Lagoas. Já Araújo et al. (2002) classificaram em Impermeável dentro do lote (pavimentos,

telhados, piscinas), Impermeável fora do lote (ruas e calçadas) e Permeável (jardins, quintais e praças).

Com base na análise destes autores e procurando adequar as suas propostas aos objetivos da pesquisa e à realidade da área mapeada, foram criadas as classes de uso e ocupação apresentadas no Quadro 03.

Quadro 03. Classes de uso e ocupação do solo estabelecidas.

<b>Classes</b>	<b>Características</b>
<b>Áreas impermeáveis dentro dos lotes</b>	Edificações (telhados) e pavimentos.
<b>Áreas impermeáveis fora dos lotes</b>	Ruas pavimentadas, calçadas e estradas de barro.
<b>Áreas permeáveis dentro dos lotes</b>	Jardins, quintais e dunas e remanescentes.
<b>Áreas permeáveis fora dos lotes</b>	Canteiros, praças, lagoas, dunas e remanescentes, rios, caminhos de areia e picadas.
<b>Lagoas</b>	Depressões com formas variadas, contendo ou não água, de origem natural ou artificial (aproveitamento do relevo para drenagem das águas pluviais).
<b>APP das Lagoas</b>	Buffer de 50 metros a partir da margem, no período de maior cheia da lagoa, segundo a legislação do município que é mais restritiva, comparada ao Novo Código Florestal Brasileiro, que além de estar em transição, dispõe que deve ser utilizada a margem regular do manancial para determinar sua APP.
<b>Dunas e remanescentes</b>	Elementos contínuos e elevados, bem como os fragmentos isolados de dunas, definidas como remanescentes, e que ainda mantêm as suas formas naturais, de acordo com imagem e o MDT.
<b>Rio Pitimbú</b>	Trecho inserido no município de Natal.
<b>APP do Rio Pitimbú</b>	Buffer de 100 metros a partir da margem, no período de maior cheia do Rio, com o auxílio do MDT. A APP foi delimitada pela margem do ano de 1978, já que se apresentou maior.

Assim, as áreas impermeáveis corresponderam à ocupação urbana, por estar inserida nessa classe elementos que caracterizam a urbanização, ou seja, o ambiente alterado pelo homem. Para a classe permeável fora dos lotes, foram considerados alguns itens como praças, caminhos de areia e picadas, que apesar de não interferir na permeabilidade do solo até certo ponto, são características de um ambiente que está sendo alterado pelo homem, consistindo um processo de progressão da urbanização.

Dessa maneira, o mapeamento foi realizado primeiramente para as classes permeáveis e impermeáveis, determinando a ocupação urbana do solo. Em seguida, foram mapeados os aspectos naturais, e unindo os dois mapeamentos, determinou-se o uso e ocupação da área de estudo, bem como a visualização do avanço da ocupação urbana e a análise sobre as feições naturais estudadas.

### **3.2.4 Geração do Modelo Digital de Terreno**

O MDT, criado por processos de interpolação, constitui-se como base de geração de produtos de elevada importância para a identificação e caracterização de padrões de uma área, tais como mapas hipsométricos ou de declividade. Também serve de base para a geração automática de hidrografia, através da indicação da direção e acumulação do fluxo hídrico propiciado pela própria estrutura de dados. De acordo com Olaya (2011), o MDT é a peça chave para análises geomorfométricas. Deste modo, seja por si ou por seus derivados, a importância de um MDT torna-se perceptível enquanto fator de delimitação e compreensão de fenômenos espaciais que impactam atividades humanas.

Preparados os dados de entrada (arquivos vetoriais de pontos), como visto anteriormente, procedeu-se à geração dos Modelos Digitais de Terreno, na escala de 1:2000, mediante os métodos de interpolação: modelo determinístico – IDW (Inverse Distance Weighted) e o geoestatístico Kriging através da extensão Geostatistical Analyst do programa ArcMap 10.1 (ESRI, 2012), e ambos foram avaliados. Foi escolhido o método IDW, por ter melhor representado a altimetria. Este método implementa explicitamente a hipótese de que as coisas que estão perto um do outro são mais parecidas do que aquelas que estão mais afastadas, com isso, o método assume que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância, dando maiores pesos aos pontos mais próximos do local de predição, e os pesos diminuindo em função da distância, daí o nome distância inversa ponderada, e assim, os melhores resultados da IDW são obtidos quando a amostragem é suficientemente densa em relação à variação local que está sendo simulada (ESRI, 2012).

Com a geração dos MDT's foi possível aprimorar a vetorização das classes estabelecidas na fotointerpretação, principalmente nas lagoas, dunas e remanescentes, além do Rio Pitimbú, já que são feições com características que representam o relevo (nível e desnível), facilitando assim as suas delimitações. Portanto, estes modelos serviram para analisar os parâmetros morfológicos que evidenciam as formas das APP's, as elevações dos seus entornos, bem como, o traçado dos perfis topográficos.

### 3.2.5 Levantamento de campo

Após o mapeamento, verificou-se a verdade terrestre com o apoio de receptor GPS e máquina fotográfica digital, o que possibilitou a aquisição de novos dados, que, juntamente com as observações de campo, levaram à atualização e confirmação das classes previamente interpretadas e ao acréscimo de novas informações ao mapeamento, como a identificação de pequenas irregularidades no relevo e detalhes não percebidos nos produtos cartográficos.

### 3.2.6 Quantificação das alterações espaço-temporais

Com o auxílio do ArcMap10.1 (ESRI, 2012) foram calculadas as áreas, em hectares, das classes vetorizadas e a área total de estudo para os 4 anos de 1969, 1979, 2006 e 2013, permitindo a obtenção das seguintes informações:

- Representação e quantificação da ocupação urbana (impermeabilização) e APP's (classes ambientais), em hectares, para cada ano;
- Porcentagem das áreas em relação ao total da área de estudo para cada ano;
- A diferença de área em hectares de uma data para outra, calculada para verificar o aumento ou a diminuição da classe (Equação 01):

$$\text{Diferença (ha)} = \text{Área data final} - \text{Área data inicial} \quad (1)$$

- A porcentagem de variação para cada período, calculada com base na equação 02:

$$\text{Variação (\%)} = \frac{(\text{Área data final} - \text{Área data inicial}) \times 100}{\text{Área inicial}} \quad (2)$$

Além dos resultados quantitativos apresentados em tabelas, gráficos e das alterações visualmente notadas pela comparação entre mapas, verificou-se a necessidade de comparar as diferenças entre os arranjos espaciais para cada intervalo de tempo aqui estudado, também em

forma de mapas, como fez Fernandes & Amaral (2013). Para isto foi utilizado o método “diferença simétrica” a partir do software ArcMap 10.1 (ESRI, 2012). Este método fornece informações sobre aumento e diminuição das classes estabelecidas mostrando o que mudou temporalmente com o avanço da expansão urbana.

Dentro do contexto, foram estabelecidas relações entre os planos de informação da ocupação do solo em cada intervalo de tempo. A integração destes resultados pela diferença entre áreas do ano posterior em relação ao tempo inicial no ambiente SIG permitiu vislumbrar nos mapas onde houve diminuição ou aumento de área.

Ao sobrepor uma camada mais antiga a uma mais recente, foi possível visualizar as alterações temporais entre as classes estudadas. O produto desta técnica, tanto quanto a quantificação citada inicialmente, através de mapas, tabelas e gráficos, mostraram valores positivos para regiões que aumentaram sua área (impermeáveis) e valores negativos para áreas que sofreram redução (permeáveis).

Assim, associando a vetorização das classes, a análise da geometria (relevo) por meio do MDT e levantamento de campo, bem como a quantificação das mesmas por meio de software de geoprocessamento, foi possível identificar e caracterizar a área de crescimento da ocupação urbana sobre os sistemas naturais, observando os impactos ocorridos.

### **3.2.7 Identificação dos impactos ambientais**

Os impactos ambientais foram identificados através da análise da quantificação dos resultados, dos mapas, levantamento de campo, além de informações pré-existentes relacionadas à temática abordada, inclusive da região.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o mapeamento em duas etapas, através da vetorização e quantificação das classes estudadas através do SIG conforme a metodologia utilizada, sendo o primeiro para as áreas permeáveis e impermeáveis, determinando assim a ocupação urbana do solo, e o segundo com as classes ambientais (lagoas, Rio Pitimbú e suas APP's, bem como dunas e remanescentes), e ao juntar os dois mapeamentos, determinou-se o uso e ocupação da área de estudo, bem como a visualização do avanço da ocupação urbana e a análise sobre as feições ambientais estudadas. Tudo isso, baseado na fotointerpretação das fotografias aéreas de 1969, 1979, 2006 e a imagem de satélite de 2013 da área de estudo, além da análise dos MDT's de 1978 e 2006 para aprimorar a vetorização. Após visitação in loco, observou-se a confirmação das classes previamente interpretadas, além do acréscimo de novas informações tanto ao mapeamento como a identificação de detalhes não percebidos nos produtos cartográficos, como por exemplo, a borda de três lagoas, bem como a situação com que estas, além de algumas dunas e remanescentes, se deparavam nos dias atuais.

Assim, o primeiro tópico deste capítulo descreve a **Evolução da impermeabilização do solo**, que determinou a ocupação urbana da área no decorrer dos anos estudados, destacando as áreas permeáveis e impermeáveis; o segundo trata do **Estudo do Relevo**, que mostra o MDT do ano de 1978, como resultado e discute o de 2006, onde foi possível identificar as máximas (elevações, as quais representam as feições de dunas e remanescentes) e mínimas (depressões, as quais representam as lagoas e o Rio Pitimbú) altitudes da área, que favoreceu a elaboração do terceiro tópico, **Uso e Ocupação do solo de 1969 a 2013**, no item **Análise da Malha Hídrica**, destacando as lagoas e o Rio Pitimbú, além de suas APP's, e **Análise das Dunas e Remanescentes**, mostrando o que restou das dunas; já o quarto item apresenta a **Identificação dos Impactos Ambientais** nas APP's ocasionados pela pressão antrópica.

#### 4.1 EVOLUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

Um dos parâmetros que se pode usar para determinar a evolução espacial da urbe é a permeabilidade do solo, considerando-se esta área como aquela que contém a capacidade de infiltrar a água pluvial no solo, favorecendo o abastecimento de aquíferos, bem como a redução do escoamento superficial. Na primeira etapa do mapeamento realizado, a ocupação

do solo foi classificada em áreas permeáveis e impermeáveis dentro e fora dos lotes, como está detalhado na metodologia. Esta classificação tem o objetivo de verificar o avanço da ocupação urbana, representada pelas áreas impermeáveis, já que esta classe se caracteriza como um ambiente modificado e construído pelo homem, que possui elementos da urbanização, como edificações e pavimentos (Áreas impermeáveis dentro dos lotes), além de ruas pavimentadas, calçadas e estradas de barro (Áreas impermeáveis fora dos lotes). Porém, na maioria dos resultados foram consideradas as classes permeáveis e impermeáveis totais, não as separando em dentro e fora dos lotes, objetivando facilitar o entendimento da temática abordada.

Na análise da evolução da ocupação do solo entre 1969 e 2013, percebe-se que a superfície impermeável na área aumentou consideravelmente, ao longo dos quatro intervalos de tempo analisados, conforme mostra a Figura 04.

A Figura 04 revela que área de estudo teve o crescimento da ocupação urbana (representada pelas áreas impermeáveis) conforme a evolução de Natal descrita na literatura (MIRANDA, 1999; SEMURB, 2010). No ano de 1969 praticamente não era ocupada por edificações, com exceção dos bairros Lagoa Nova e Cidade da Esperança ainda em desenvolvimento, porém a divisão em lotes e arruamentos em outras áreas já era observada, mas ainda, com uma concentração significativa de áreas permeáveis.

Já em 1979, teve o crescimento no sentido de norte a sul bem mais acentuado, na posição leste da área estudo, com o surgimento de novas ocupações no bairro Candelária, Capim Macio, Neópolis e Cidade Nova da Zona Sul. Além disso, os bairros Planalto e Felipe Camarão passaram a ser loteados, para posteriormente receber a população, inclusive em algumas superfícies permeáveis (arenosas) centrais da área de estudo, já existiam caminhos trilhados, marcando o processo de interferência humana local a partir deste período.

Após 34 anos, em 2013, verificou-se que a ocupação urbana ocorreu em todos os sentidos da área, mas foi possível perceber que os bairros Guarapes e Planalto ainda tinham uma quantidade considerável de vazios urbanos desde 2006, por isso foram e ainda são visados pela especulação imobiliária, por terem espaços para expansão da cidade. Além disso, é possível verificar que a quantidade de áreas permeáveis diminuiu muito, influenciando no risco de inundação da cidade, como ocorre frequentemente em períodos chuvosos no município. Ainda no último período, foi observada a presença de caminhos no restante da porção central da área de estudo, podendo isso pressupor uma progressão da ocupação urbana, inclusive esses caminhos vieram aumentando nas bordas desta região desde a década de 1970, onde hoje a maioria encontra-se pavimentados e com edificações.

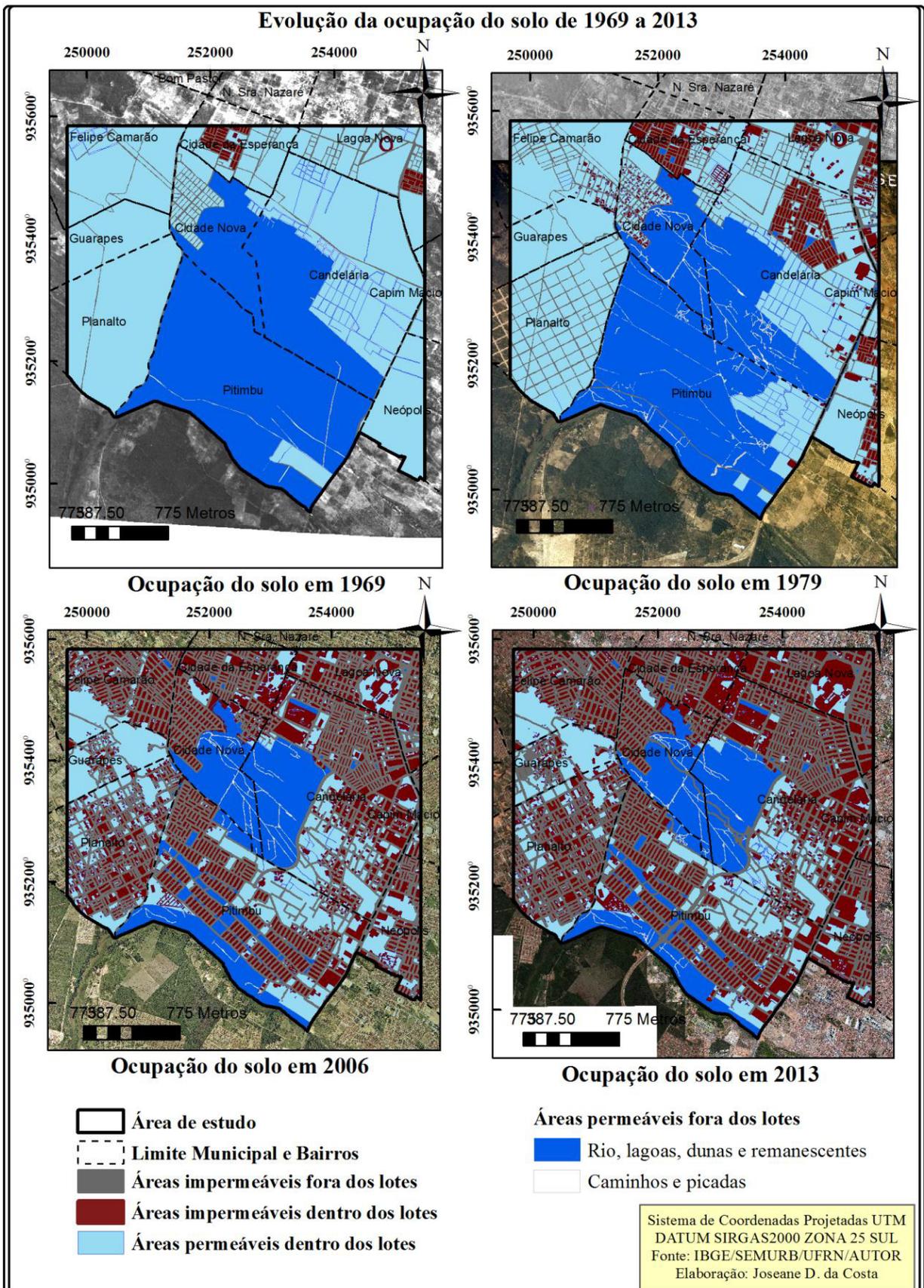
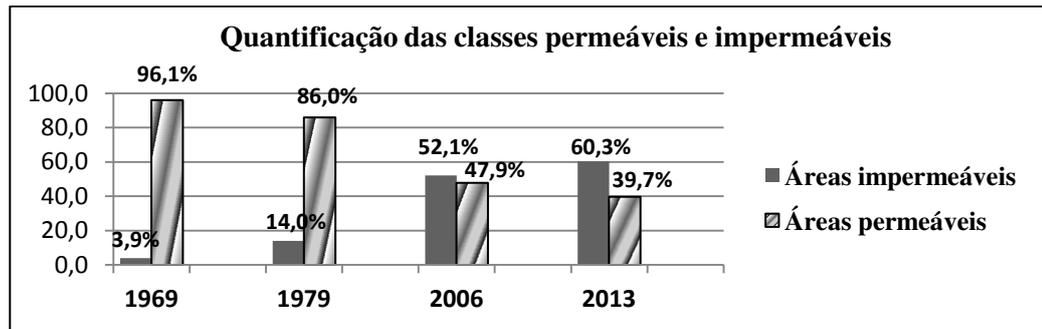


Figura 04. Evolução espaço-temporal das áreas permeáveis e impermeáveis entre 1969 e 2013. Fonte: AUTOR (2014).

As classes permeáveis para o ano de 1969 totalizaram 2894,8 ha, representando 96,1%, de aproximadamente 3012 ha (área de estudo), e as impermeáveis 117,1 ha (3,9 %), e em 2013 os resultados percentuais foram de 39,7% e 60,3%, respectivamente (Gráfico 01). Assim, o Gráfico 01 mostra o gradativo aumento da área impermeável, em 3,9% (1969), 14,0% (1979), 52,1% (2006) e 60,3% (2013).

Gráfico 01. Classes impermeáveis e permeáveis em porcentagem para cada ano em relação à área total de estudo.



Para visualizar e determinar o quanto essas classes aumentaram e diminuíram em cada período, serão mostrados adiante a Figura 05 e a Tabela 02, como resultado da evolução temporal das áreas impermeáveis. Na Figura 05, a área impermeável ilustrada pela cor marrom aumentou, em contra partida, as áreas representadas pela cor pela cor cinza sugerem que a mesma permaneceu em determinado intervalo de tempo e a cor azul, representa a área permeável. Assim, com o aumento da impermeabilização, as superfícies naturais reduziram; caracterizando uma área de estudo praticamente sem interferência humana inicialmente, porém, que sofreu intenso processo de expansão urbana recentemente.

Ao observar a figura anteriormente citada junto à Tabela 01, nos primeiros 10 anos, período de 1969-1979, as áreas impermeáveis dentro dos lotes cresceram em 500% aproximadamente em relação à área inicial, maior que o crescimento do período entre 1979-2006, que foi cerca de 460%, correspondendo isso a um aumento da população maior em 10 anos do que em 26. Isso pode ser justificado pelas migrações para a capital, como fator de aceleração do processo de urbanização, justamente na década de 1970, quando o RN passou a vivenciar uma crise na economia local (decadência da trilogia gado-algodão-agricultura), que onde trouxe como consequência o desemprego e o empobrecimento de outras regiões do estado não contempladas com investimentos no setor produtivo, e como Natal possuía a atividade econômica mais dinâmica e uma atuação mais profícua do Estado, através de políticas públicas, tornava-se mais atrativa, e assim, criavam-se condições de absorver a mão de obra migrante (SILVA, 2001).

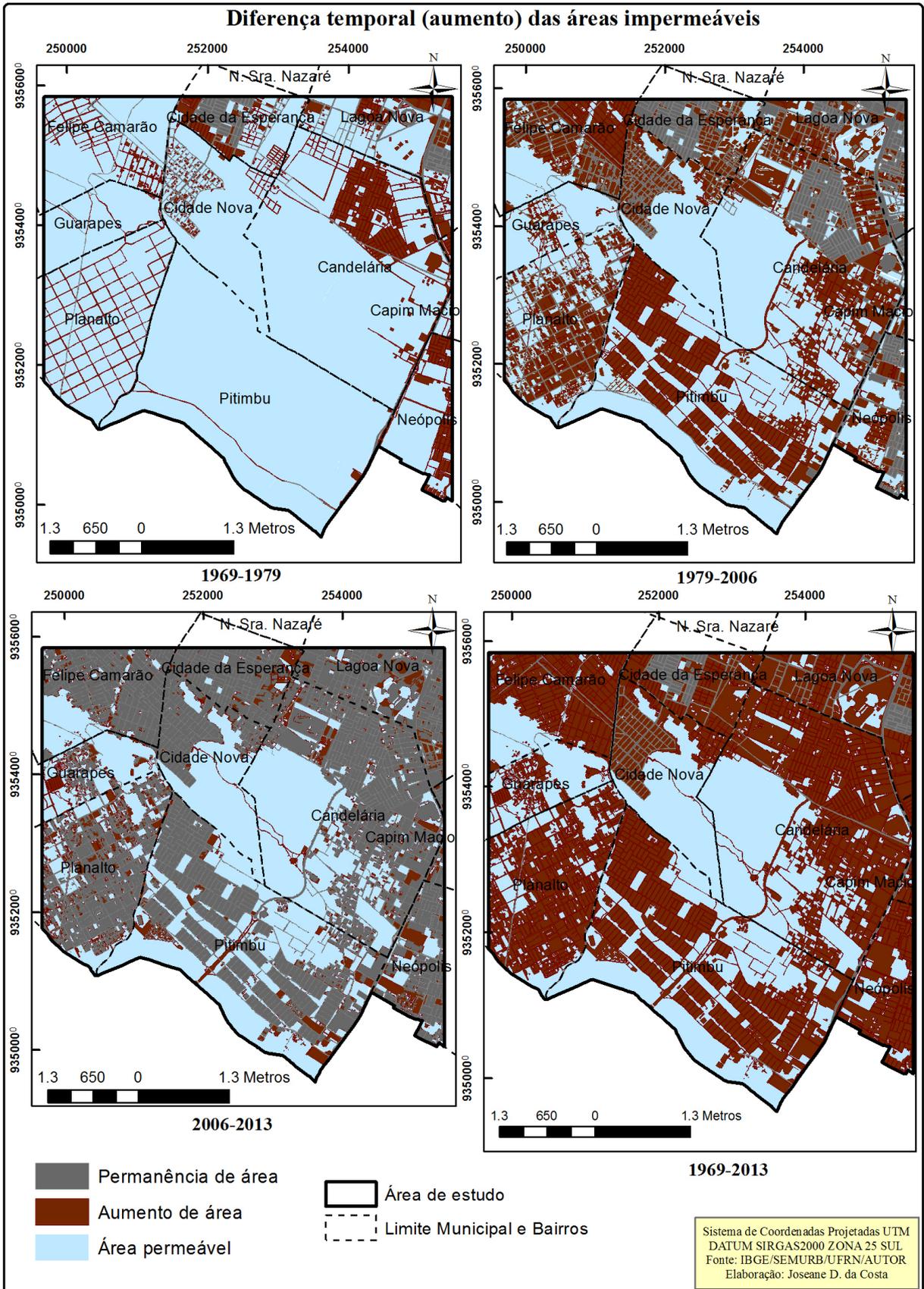


Figura 05. Alterações nas áreas impermeáveis entre 1969 e 2013.  
 Fonte: Autor (2014).

Tabela 01. Diferença de área em hectares e variação temporal em porcentagem das classes permeáveis e impermeáveis.

Diferença em hectare e variação em porcentagem de área entre períodos												
Classes	1979-1969		2006-1979		2006-1969		2013-2006		2013-1979		2013-1969	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Áreas impermeáveis dentro dos lotes	186,4	519,9	1029,7	463,2	1216,2	3391,4	207,1	16,5	1236,9	556,4	1423,3	3968,9
Áreas impermeáveis fora dos lotes	118,0	145,2	119,4	59,9	237,4	292,0	38,1	11,9	157,4	79,0	275,4	338,8
<b>Total de áreas impermeáveis</b>	<b>304,4</b>	<b>259,9</b>	<b>1149,1</b>	<b>272,6</b>	<b>1453,5</b>	<b>1240,8</b>	<b>245,2</b>	<b>15,6</b>	<b>1394,3</b>	<b>330,7</b>	<b>1698,7</b>	<b>1450,1</b>
Áreas permeáveis dentro dos lotes	-212,5	-12,3	-598,2	-39,6	-810,7	-47,1	-227,6	-25,0	-825,8	-54,7	-1038,3	-60,3
Áreas permeáveis fora dos lotes	-92,0	-7,8	-550,9	-51,0	-642,9	-54,8	-17,4	-3,3	-568,4	-52,6	-660,3	-56,3
<b>Total de áreas permeáveis</b>	<b>-304,4</b>	<b>-10,5</b>	<b>-1149,1</b>	<b>-44,4</b>	<b>-1453,5</b>	<b>-50,2</b>	<b>-245,1</b>	<b>-17,0</b>	<b>-1394,2</b>	<b>-53,8</b>	<b>-1698,6</b>	<b>-58,7</b>

Observação: Os números positivos representam aumento de área, já os negativos, diminuição.

Já no período de 2006-2013, o aumento de áreas impermeáveis não foi tão relevante, representando 15,6% da área inicial, por se tratar de um período curto de 7 anos, além do que mais da metade da área de estudo já estava impermeabilizada e foi a época que reviram o Plano Diretor da Cidade, além de oficializar Unidades de Conservação Ambiental como Parque Municipal Dom Nivaldo Monte, o que pode ter freado um pouco a ocupação urbana, além de um ritmo mais lento do crescimento populacional.

Assim, a área de estudo, que representa as características naturais litorâneas e os problemas sócio-espaciais de Natal, teve em 44 anos, correspondente ao período de 1969-2013, um aumento de aproximadamente 1450% de áreas impermeáveis, ou seja, uma área que antes correspondia a 117,1 ha aumentou para 1815,9 ha, provocando uma perda de aproximadamente 60% (1700 ha) de áreas permeáveis (Tabela 02).

À medida que áreas com superfícies naturais (permeáveis) vão sendo impermeabilizadas, devido à ocupação urbana, há um aumento no escoamento superficial, o que reduz a infiltração e retenção da água no solo, e conseqüentemente uma maior probabilidade de ocorrências de cheias e impactos ambientais. Há também problemas com a qualidade da água, como também com doenças de veiculação hídrica.

## 4.2 ESTUDO DO RELEVO

Um das formas mais práticas e eficientes hoje de se estudar o relevo, é através dos Modelos Digitais de Terreno, os quais representam a superfície terrestre topograficamente, evidenciando as máximas (elevações, as quais representam as feições de dunas e remanescentes) e mínimas (depressões, as quais representam as lagoas e o Rio Pitimbú) altitudes da área, o que aprimorou a vetorização dessas feições.

### 4.2.1 Análise do MDT

Como resultado da vetorização das cartas altimétricas e interpolação dos dados vetoriais do ano de 1978 pelo método de IDW, foi obtido um Modelo Digital de Terreno com resolução de 1 metro, que representou significativamente as feições que Natal tinha na época (Figura 06a), onde são ressaltadas as maiores altitudes, as quais representam as dunas. A Figura 06b mostra os seis perfis transversais traçados utilizando o MDT, sendo que o A1B1, o A2B2 e o A3B3 representam o relevo mais elevado, atingindo uma altitude máxima de aproximadamente 100 m (perfil A1B1). Esses perfis mostram que existiam áreas de material de natureza porosa e permeável, e conseqüentemente com uma maior capacidade de infiltração de águas pluviais e armazenamento no Aquífero Dunas/Barreiras, segundo Amaral et al. (2005).

Além da evidência dos pontos mais altos, o MDT também mostrou as áreas topograficamente mais baixas, as quais representam as lagoas, o que facilitou o estudo sobre a geomorfologia e relevo dessas feições. Já o MDT de 2006, praticamente se mostrou similar ao de 1978, porém em alguns pontos de depressão como a Lagoa do Planalto III, mostrou uma variação altimétrica (alteração da geometria) entre o ano de 1978 e 2006, sendo este assunto melhor abordado no tópico Análise da Malha Hídrica, mais especificamente: Influência direta da ocupação urbana sobre as lagoas.

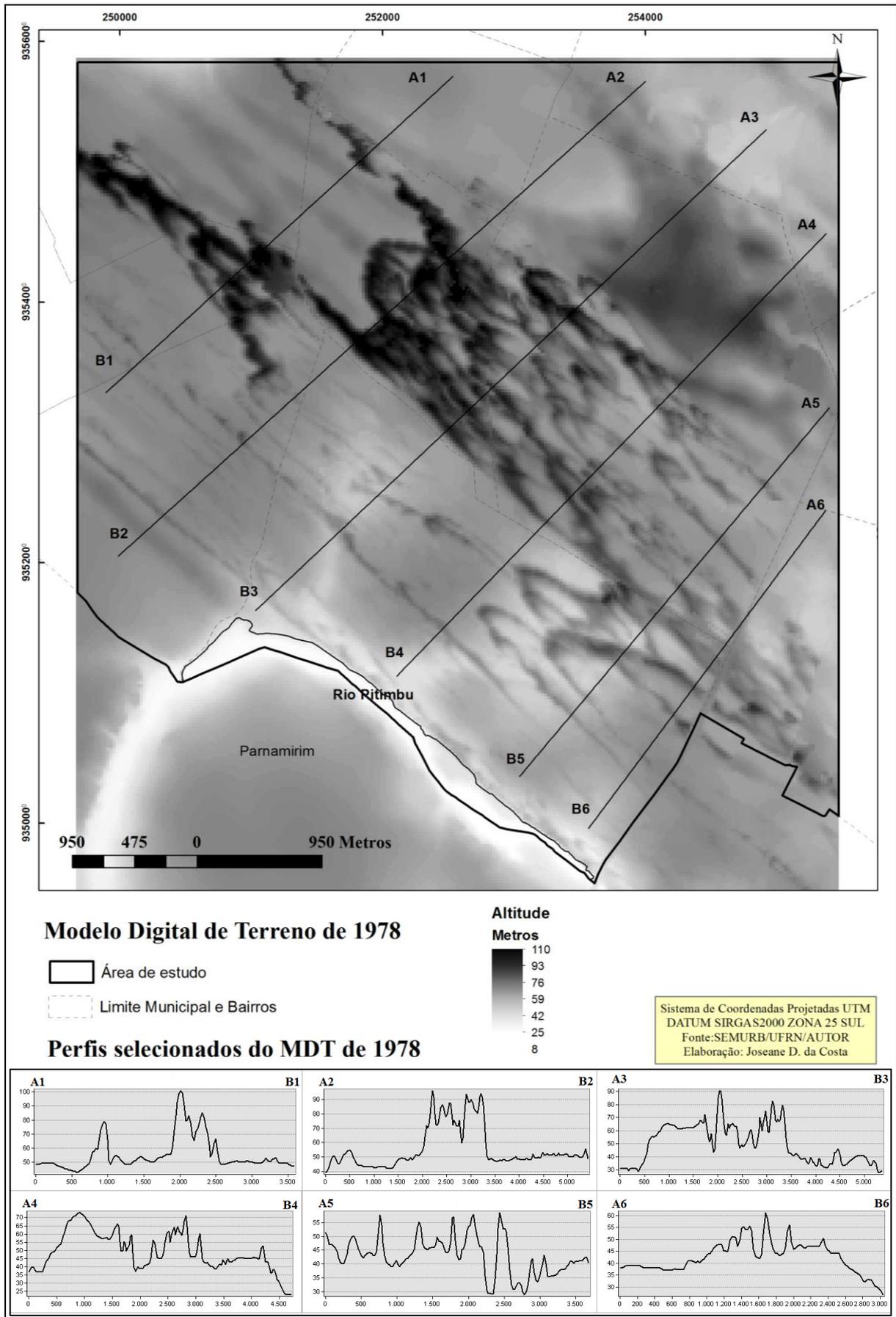


Figura 06. a) Modelo Digital de Terreno de 1978 da área de estudo. b) Perfis selecionados do MDT de 1978. Fonte: Autor (2014)

### 4.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE 1969 A 2013

Com a finalização do mapeamento dos aspectos naturais, foi possível identificar o avanço da ocupação urbana dos últimos 44 anos sobre as dunas e remanescentes, lagoas e o Rio Pitimbú, bem como as APP's da área de estudo, resultando em um mapa final de Uso e ocupação do solo representado pela Figura 07, além da quantificação dessas feições ambientais por meio de tabelas e gráficos. Assim, primeiramente serão mostradas os dados quantitativos e o mapa totais, e posteriormente cada feição ambiental estudada será melhor resultada e discutida nos próximos subtópicos: **4.3.1 Análise da Malha Hídrica** e **4.3.2 Análise das Dunas e Remanescentes**.

Em 1969 as lagoas representavam 4,7% da área de estudo e suas APP's 9,4%, correspondendo a 140 ha e 283 ha, respectivamente, e em 2013 apenas 1 % e 4 % aproximadamente. Já as dunas e remanescentes, inicialmente ocupavam uma área de 2228,3 ha, correspondendo a 74 % da área, e em 2013 resultando somente em 30%. Por último o Rio Pitimbú, cabendo ressaltar que foi considerado o seu trecho urbano inserido na área de estudo, o qual equivalia no ano de 1969 a 1,6 % da área, com 49 ha, chegando a 2013 com 1%, porém a sua APP praticamente não foi alterada em termos de área, pois variou de 93,5 ha a 90,6 ha durante esse período (Tabela 02).

Na análise da evolução espaço-temporal através do uso e ocupação do solo entre os anos 1969 e 2013, percebe-se que a ocupação urbana avançou consideravelmente sobre as áreas naturais presentes na área de estudo, implicando diretamente na diminuição das áreas ocupadas pelas mesmas, principalmente das lagoas e suas APP's, além das dunas e remanescentes (Figura 07). Em 1969, essas áreas estavam praticamente inalteradas, já em 1979 passaram a sofrer uma relativa interferência em decorrência da ocupação urbana, logo a partir de 2006 sofreram uma redução substancial de suas áreas devido à consolidação do avanço do crescimento urbano e em 2013 houve menos alteração em relação a 2006, com exceção do Rio Pitimbú e sua APP.

Tabela 02. Áreas naturais em hectares e em porcentagem para cada ano em relação à área total de estudo.

<b>Áreas naturais em relação à área de estudo para cada ano</b>									
<b>Classes</b>	<b>1969</b>		<b>1979</b>		<b>2006</b>		<b>2013</b>		
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
<b>Lagoas</b>	141,1	4,7	123,4	4,1	40,8	1,4	34,3	1,1	
<b>APP's das lagoas</b>	282,8	9,4	268,5	8,9	147,0	4,9	117,9	3,9	
<b>Dunas e Remanescentes</b>	2.228,3	74,0	2.037,7	67,7	1.037,3	34,4	918,8	30,5	
<b>Rio Pitimbú</b>	49,1	1,6	49,1	1,6	40,6	1,3	29,5	1,0	
<b>APP do Rio Pitimbú</b>	93,5	3,1	93,5	3,1	92,0	3,1	90,6	3,0	
<b>Área de estudo</b>	3012,0	100	3012,0	100	3012,0	100	3012,0	100	

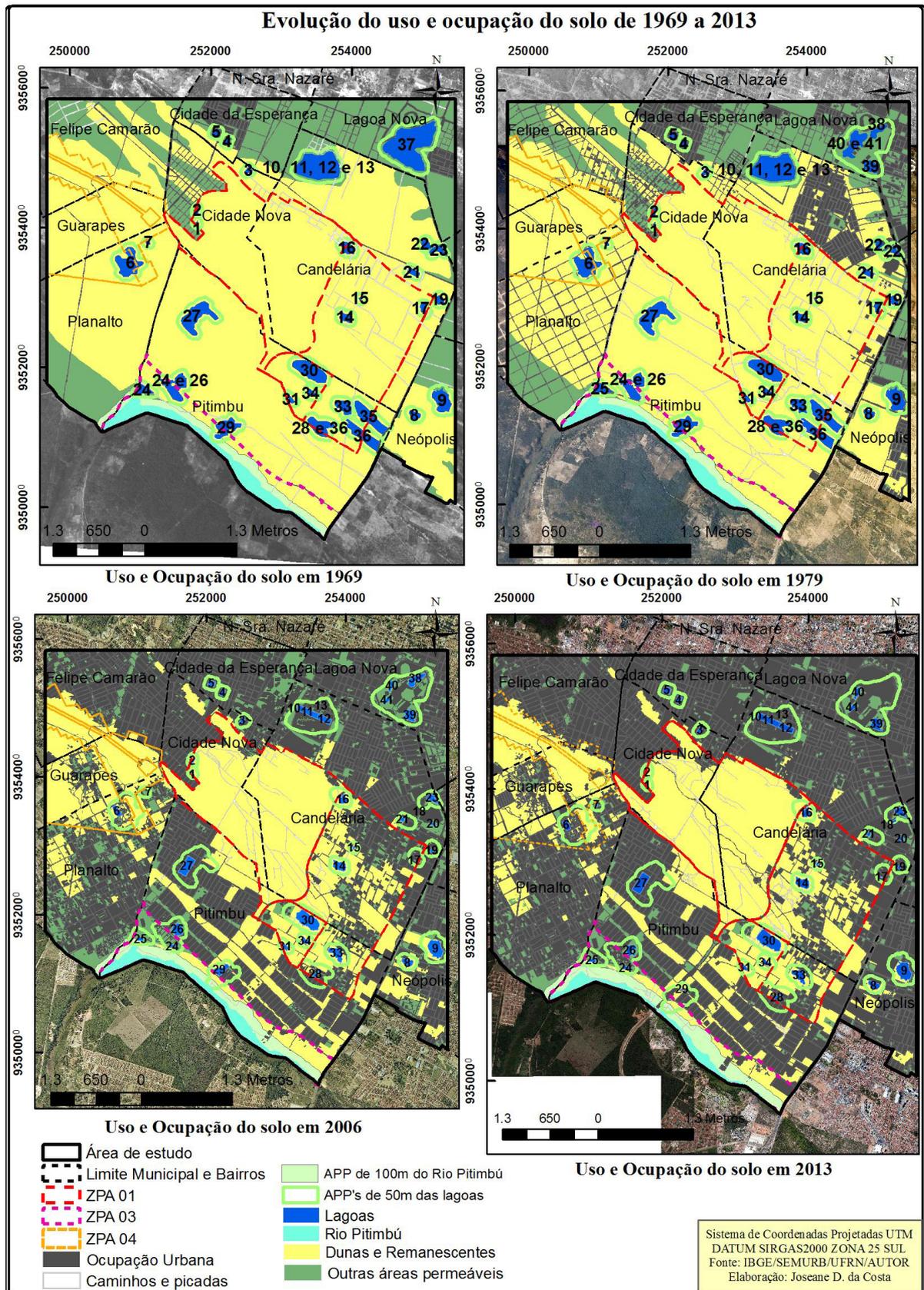
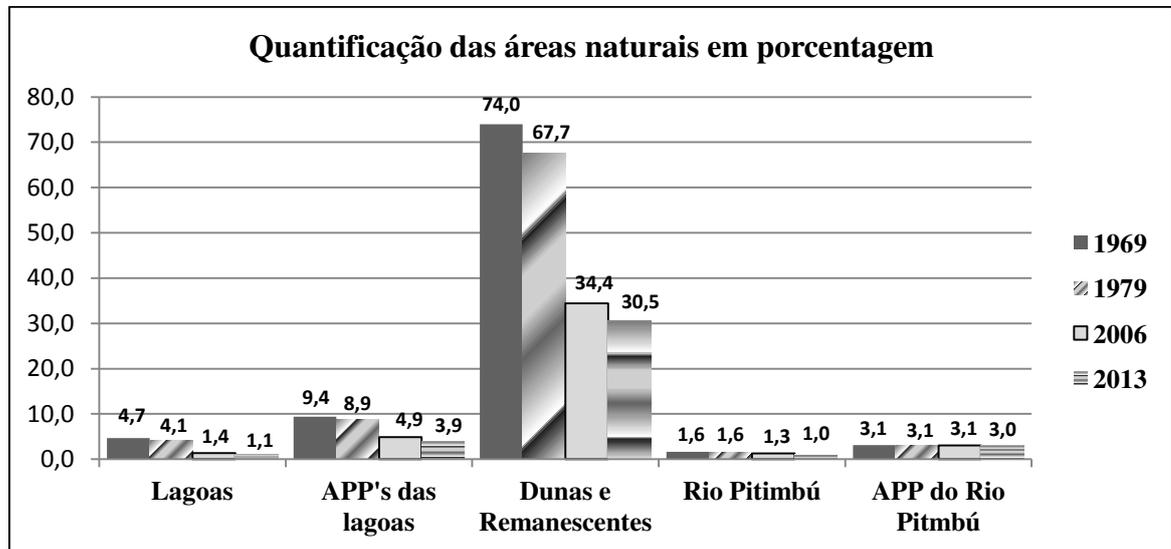


Figura 07. Uso e ocupação do solo de 1969 a 2013 da área de estudo, destacando o Rio Pitimbu, as lagoas (Numeradas conforme o Quadro 04) e suas APP's da margem superior (ano de 1978), além das dunas e remanescentes e o avanço da ocupação urbana sobre essas feições. Fonte: Autor (2014).

O Gráfico 02 mostra melhor a proporção com que cada classe ambiental correspondeu da área de estudo em porcentagem ao longo dos anos estudados.

Gráfico 02. Porcentagem das classes ambientais entre os anos estudados.



Para complementar a quantificação da evolução espaço-temporal das áreas naturais, foi calculada a diferença em hectares e a variação em porcentagem entre os períodos estudados. Assim, cerca de 60% das APP's das lagoas diminuíram em 44 anos, conseqüentemente as próprias lagoas também sofreram redução de aproximadamente 76 % da sua área, equivalendo a uma perda de 107 ha. Por outro lado, o período mais significativo de redução das áreas naturais, foi o de 1979-2006, quando houve redução de ordem de 67% das lagoas e 45% de suas APP's (Tabela 03 e Gráfico 03).

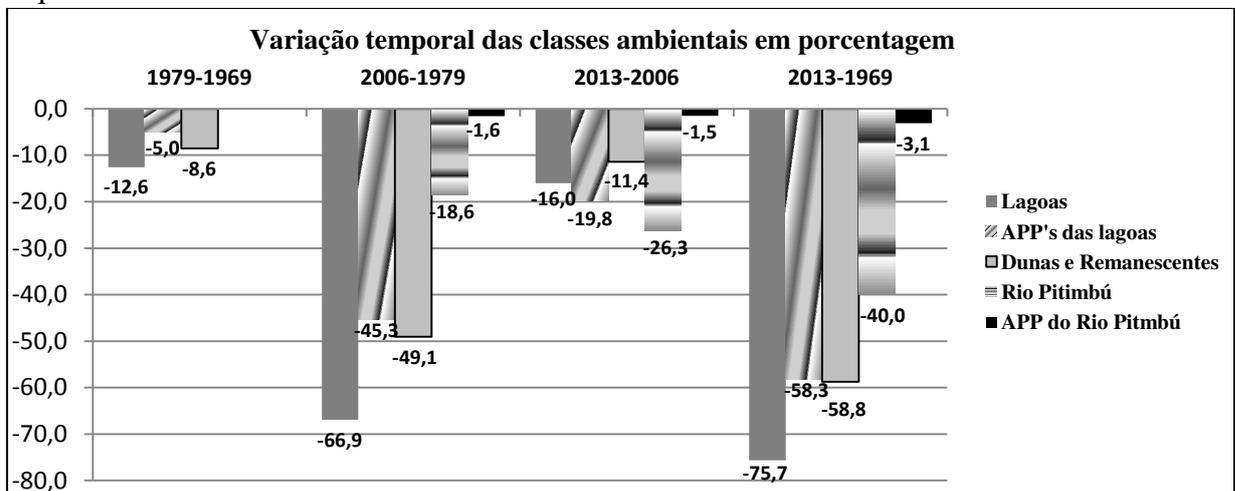
A partir da década de 1970, na cidade do Natal, aumentaram expressivamente as áreas de ocupação urbana no entorno e mesmo sobre as lagoas, para dar lugar a construções, provocando a transferência da drenagem natural para redes de galerias, fato que modificou o regime hídrico (MEDEIROS, 2001). Além disso, houve redução da área de mata ciliar, sendo mais significativa para a área de estudo a partir do final desta década. Em consequência disso, algumas lagoas na área de estudo desapareceram, como a Lagoa Nova, embora, por vezes, estas lagoas aflorem em períodos chuvosos causando alagamentos, pois são depressões fechadas para onde as águas pluviais se direcionam como resultado das impermeabilizações discutidas inicialmente.

Tabela 03. Diferença de área em hectares e variação temporal em porcentagem das áreas naturais.

Diferença em hectare e variação em porcentagem de área entre períodos												
Classes	1979-1969		2006-1979		2006-1969		2013-2006		2013-1979		2013-1969	
	ha	%										
<b>Lagoas</b>	-17,7	-12,6	-82,5	-66,9	-100,3	-71,1	-6,5	-16,0	-89,1	-72,2	-106,8	-75,7
<b>App's das lagoas</b>	-14,2	-5,0	-121,6	-45,3	-135,8	-48,0	-29,1	-19,8	-150,6	-56,1	-164,9	-58,3
<b>Dunas e Remanescentes</b>	-190,5	-8,6	-1.000,4	-49,1	-1.190,9	-53,4	-118,5	-11,4	-1.118,9	-54,9	-1309,5	-58,8
<b>Rio Pitimbú</b>	0,0	0,0	-9,1	-18,6	-9,1	-18,6	-10,5	-26,3	-19,6	-40,0	-19,6	-40,0
<b>APP do Rio Pitimbú</b>	0,0	0,0	-1,5	-1,6	-1,5	-1,6	-1,4	-1,5	-2,9	-3,1	-2,9	-3,1

Observação: Os números positivos, representam aumento de área, já os negativos, diminuição.

Gráfico 03. Variação em porcentagem das classes ambientais apenas para quatro períodos sequenciais.



Em termos de quantidade em hectares, as dunas e remanescentes foram as que mais sofreram redução, cerca de 1310 ha, aproximadamente 60% da sua área inicial de 2.228,3 ha em 44 anos, devido a ocupação urbana. Entre 1969 e 1979, reduziu cerca de 9% para dar lugar a construções, como conjuntos habitacionais nos bairros Candelária (totalmente sobre as dunas), Neópolis, Cidade Nova e Felipe Camarão. Já em 2006 houve diminuição de cerca de 50% com o avanço do crescimento urbano para todos os sentidos da área de estudo, porém as áreas que ainda contém uma concentração razoável em 2013 estão inseridas as ZPA's, além de alguns remanescentes de dunas no bairro Pitimbu e Cidade Nova.

O Rio Pitimbú e sua APP se mantiveram inalterados praticamente até 2006, passando a ter uma redução mais significativa a partir deste ano até 2013, de 26,3% e 1,5%, respectivamente, quando comparado ao período de 1969 a 2006, que foi de -18,6% e -1,6%, ou seja, em 37 anos houve uma menor variação de área do que em 7. Isto pode ser justificado tanto pela presença de casas e estradas devido o desenvolvimento tardio do bairro Pitimbu,

que também provocam uma redução de área de mata ciliar; como também pela construção do prolongamento da Avenida Prudente de Moraes finalizada em 2010 (uma das obras para a Copa de 2014 do RN), que corta a ZPA 03 em direção ao município de Parnamirim (com o objetivo de facilitar o acesso ao aeroporto internacional Augusto Severo), onde o projeto previu uma ponte sobre o Rio Pitimbú, que para tal, dos aproximadamente 100m de largura da planície fluvial do Rio, 60m foram aterrados e restaram 40m para a livre passagem das águas das suas águas, com isso, acarretou em alguns impactos ambientais para a área, como o estreitamento do rio (NATAL, 2010), além da perda de dunas por ocupação da via que também cortou a ZPA 01.

#### **4.3.1 Análise da Malha Hídrica**

A malha hídrica na área de estudo é composta pelo Rio Pitimbú e lagoas naturais e artificiais, classificadas em intermitentes e perenes. Estas constituem, na verdade, depressões com formas variadas, contendo ou não água, de origem natural ou artificial, podendo ser resultante de afloramentos do aquífero Dunas/Barreiras, alimentadas pelas precipitações pluviométricas e com água o tempo todo quando perenes, e intermitentes quando ocorre água por ocasião da estação chuvosa, secando no período de estiagem. Isso pode ser observado pelas imagens estudadas, além do auxílio das literaturas sobre a hidrografia da região.

A área das lagoas foi calculada com base nas suas margens, por meio da fotointerpretação e da altitude pelo MDT. Cabendo ressaltar que este mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo da área do Rio Pitimbú, discutido no subtópico **4.3.1.2 Rio Pitimbú e sua APP (inclusas na ZPA 03)**.

##### **4.3.1.1 Lagoas Naturais e Artificiais**

Foram encontradas no total 41 lagoas, sendo 5 naturais desaparecidas ao longo do tempo, sendo elas: Natal Shopping, Depressão I e II, Lagoa Nova e Lagoa Nova II, 17 artificiais e 19 naturais, como mostra o Quadro 04, que também mostra a área para o ano de 2013, além da localização dessas feições. Como se pode observar, recentemente maioria é representada por pequenas depressões com área média de 0,9 ha. Em termos de área, destacou-se a Lagoa Nova com quase 30 ha, porém desaparecida. Das lagoas ainda existentes, a San Vale RD 04 (natural intermitente e de drenagem) e a do Makro (natural e perene) são as maiores, com mais de 5 e 3 ha, respectivamente. Estas lagoas e outras serão melhor discutidas no subtópico seguinte *Influência direta da ocupação urbana sobre as lagoas*.

Quadro 04. Lagoas encontradas na área de estudo.

Número	Nome da Lagoa	Tipo/Característica	Área (ha)	Coordenada X**	Coordenada Y**	Bairro	Zona
1	ZPA1*	Natural/PERENE	0,120	251803,985	9354062,688		Oeste
2	Cidade Nova	Natural/INTERMITENTE	0,132	251799,640	9354237,630	Cidade Nova	
3	Nova Cidade*	Artificial/PERENE	0,354	252514,843	9354814,125		
4	Horto*	Natural/INTERMITENTE	0,572	252229,177	9355228,049	Cidade da Esperança	
5	Esperança*	Artificial/INTERMITENTE	0,751	252067,907	9355359,979		
6	Planalto I	Artificial/INTERMITENTE	0,861	250699,841	9353506,968	Planalto	
7	Planalto III*	Natural/INTERM/DRENAGEM E ASSOREADA	0,045	251165,397	9353784,339		
8	Socyte	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	1,209	254890,211	9351308,951	Neópolis	Sul
9	Makro*	Natural/ PERENE	3,748	255300,401	9351504,303		
10	Petrobras*	Artificial/INTERMITENTE	0,820	253359,704	9354994,702		
11	Petrobras*	Artificial/INTERMITENTE	0,830	253454,517	9354949,459		
12	Petrobras*	Natural/INTERMITENTE	1,628	253692,697	9354841,052		
13	Petrobras*	Artificial/INTERMITENTE	0,815	253550,433	9354905,403		
14	San Vale RD 03	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	2,018	253915,466	9352712,897		
15	San Vale RD 02B	Natural/ INTERMITENTE/DRENAGEM	0,112	254120,411	9352973,895		
16	San Vale RD 01*	Natural/ INTERMITENTE/DRENAGEM	0,566	253987,116	9353694,625		
17	Parque das Pedras	Natural/PERENE	0,026	254994,296	9352791,866		
18	Carrefour	Artificial/INTERMITENTE	0,188	255157,797	9353560,858		
19	Integração	Artificial/INTERMITENTE	0,217	255240,527	9352933,592		
20	Carrefour II	Artificial/DRENAGEM	0,273	255263,869	9353319,119		
21	Bairro Latino	Artificial/INTERMITENTE	0,234	254821,265	9353385,044		
22	Natal Shopping***	Natural/INTERMITENTE	1,406	255057,148	9353755,239		
23	Mirassol	Natural/INTERMITENTE	1,055	255246,568	9353687,290		
24	Próx. ao Pitimbú	Artificial/INTERMITENTE	0,344	251508,913	9351547,850		
25	Planalto IV	Artificial/DRENAGEM	0,335	251050,766	9351652,157		
26	Caiapós I*	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	1,603	251585,679	9351781,141		
27	Xavantes	Artificial/INTERMITENTE	3,319	251717,409	9352709,930		
28	Xavantes II*	Natural/INTERMIT. - Lixo na borda	0,264	253570,279	9351138,833		
29	Caiapós II	Artificial/DRENAGEM	0,118	252277,224	9351253,023		
30	San Vale RD 04	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	5,486	253459,991	9351921,199		
31	Lagoa Natural	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	0,395	253125,161	9351555,261		
32	San Vale RD 06	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	0,102	253625,718	9351193,811		
33	San Vale RD 05	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	1,915	253873,921	9351438,165		
34	San Vale RD 02 A	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	0,596	253419,143	9351619,294		
35	Depressão I ***	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	8,038	254248,523	9351285,650		
36	Depressão II***	Natural/INTERMITENTE/DRENAGEM	6,858	254161,867	9351024,593		
37	Lagoa Nova ***	Natural/INTERMITENTE	29,154	254836,969	9355179,533		
38	Lagoa Nova II***	Natural/INTERMITENTE	2,107	255010,618	9355411,273		
39	C.Administrativo*	Artificial/INTERMITENTE	1,821	254926,902	9354897,462		
40	C.Administrativo*	Artificial /INTERMITENTE	0,548	254665,777	9355330,742		
41	C. Administrativo*	Artificial /INTERMITENTE	0,600	254602,864	9355123,399		

\*Lagoas visitadas. \*\* Centróide em metros. \*\*\*Lagoas não presentes nos dias atuais.

Com relação à localização das lagoas, verifica-se que a maior parte delas se encontra na Zona Sul, nos bairros Pitimbu e Candelária, mais conhecida como região do San Vale, composta por campos de dunas (onde o lençol freático por vezes ascende em área de depressões), o que contribui para o surgimento de lagoas interdunares, tendo estas um papel importantíssimo no contexto hidrogeológico da cidade. Enquanto que a zona oeste é onde menos elas são observadas, principalmente no bairro Cidade da Esperança, possivelmente isto ocorre porque a região é menos acidentada e, portanto, tem menor presença de dunas.

As lagoas naturais apresentaram cotas altimétricas de 23 a 47 metros, que segundo Medeiros (2001) são caracterizadas como interdunares, com formas alongadas e semicirculares, controladas pela direção das dunas e dos ventos. A maioria das lagoas artificiais foi originada das naturais, onde suas depressões foram aproveitadas e alteradas para suportar a drenagem da região, em decorrência do aumento da impermeabilização do solo. Já, as que não são de origem natural e sim construídas (escavadas) são: Carrefour II e Caiapós II.

#### ***4.3.1.2.1 Influência direta da ocupação urbana sobre as lagoas***

Para a realização da análise da APP das Lagoas das regiões administrativas Sul e Oeste inseridas na área de estudo, foi inicialmente definida uma faixa de 50 metros da sua maior margem (APP, que foi da margem do ano de 1978, conferida pelo MDT) baseada no Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental, além do Plano Diretor da Cidade, como a área de influência impactante direta de análise representada anteriormente na Figura 10. Posteriormente, realizou-se uma seleção de 16 lagoas para verificação in loco, tendo como critérios: características de intermitência ou perenidade, dimensão, complexidade, localização e quantidade por bairro. No total foram encontradas na área de estudo 41 lagoas naturais e artificiais, contemplando os bairros da cidade, como mostrou o Quadro 04.

A seguir serão descritas 10 lagoas visitadas, julgadas mais importantes por suas características de intermitência ou perenidade, naturalidade ou artificialidade, complexidade, dimensão e o seu estado de conservação, e uma que não foi visitada, mas que têm relevância por ser a maior lagoa natural de drenagem das existentes ainda: a San Vale RD 04. Em relação aos critérios perenidade, naturalidade e artificialidade e dimensão, serão mostradas as três únicas perenes encontradas: Lagoa da ZPA 1 (natural), Nova Cidade (artificial) e a do Makro (maior natural e perene encontrada); quanto à complexidade, três lagoas apresentaram dificuldades relacionadas à fotointerpretação da sua borda para aprimorar a vetorização, sendo

elas: Caiapós I, Planalto III e San Vale RD 01; e as outras cinco também serão descritas quanto ao seu estado de conservação e alteração.

Dessa forma, serão mostrados os impactos que as lagoas vêm sofrendo ao longo do tempo pela expansão urbana. Cabendo ressaltar, que as formas de ocupação do entorno das lagoas favoreceram, a redução das áreas ocupadas pelas mesmas, além do desequilíbrio morfológico através do lançamento de efluentes domésticos (MEDEIROS, 2001).

### **Lagoa da ZPA 01**

A Lagoa da ZPA 01 (Número 1 do Quadro 04), denominada assim neste trabalho, já que a sua existência é desconhecida na literatura, é natural, perene e interdunar e está localizada na borda de uma face de deslizamento de uma duna (slip side) com 0,120 ha, com o diferencial de que a mesma está dentro da ZPA 01 em zona urbana no bairro Cidade Nova, onde seu acesso é dado pela Rua Bela Vista (Figura 08). A sua APP tem cerca de 2 ha e sua ocupação (por residências e ruas pavimentadas) chegou em 2013 a 50%.



Figura 08. Vistas da Lagoa da ZPA 01.

Fonte: Autor (2014).

A situação em que a lagoa se encontra é muito ruim, pois ela se tornou um ponto de lançamento de resíduos sólidos e líquidos, já que a região não dispõe de saneamento básico, com a maior parte do esgoto e de água misturada com óleo (provenientes de oficina mecânica nas imediações) sendo lançados a céu aberto e direcionados para a lagoa (Figura 09). A consequência deste problema é a contaminação do lençol freático, já que a área de duna funciona como um meio poroso de recarga de aquífero, além da proliferação de doenças e ainda presença de fortes odores na área.



Figura 09. Resíduos sólidos (lixo e resíduos da construção civil) presentes no entorno da Lagoa da ZPA 01 e esgoto a céu aberto direcionado para a mesma.  
Fonte: Autor (2014).

Há relatos de moradores que em períodos chuvosos a lagoa transborda, alagando toda a área próxima, atingindo as residências e fazendo até emergir água nos sanitários.

### **Lagoa Nova Cidade**

A Lagoa Nova Cidade (Número 3 do Quadro 04) artificializada para drenagem da área, perene e com área de 0,354 ha, encontra-se localizada na rua sem saída Eng. Carlos Liberato, no bairro Cidade Nova, na região administrativa oeste da cidade de Natal. A sua APP tem cerca de 3 ha e sua ocupação (por residências e ruas pavimentadas) chegou em 2013 a 87%. As primeiras ocupações no bairro Cidade Nova ocorreram na década de 1960, tendo um aumento após a consolidação do bairro da Cidade da Esperança, assim, as ocupações aconteceram de maneira informal, sem que houvesse o mínimo planejamento, avançando sobre áreas ambientalmente frágeis, como a APP desta Lagoa e as dunas, sendo ocupadas com habitações simples (Figura 10).



Figura 10. Vista da Lagoa Nova Cidade em 2014.  
Fonte: Autor (2014).

Até hoje, o bairro possui problemas como a falta de saneamento básico e os resíduos sólidos na área. O lixo urbano é presente em diversas partes do entorno e dentro da rede de drenagem local, além do esgoto lançado a céu aberto (Figura 11), sem nenhum tratamento, e não só em períodos de chuvas, como diretamente são direcionados para a Lagoa, sendo um problema socioambiental para a região, já que contribuem para proliferação de doenças e contaminação do solo e do lençol freático. Esses mesmos problemas foram registrados por Start em 2008, porém a lagoa ainda era cercada, e hoje estão mais agravantes ainda, além da presença de odores.



Figura 11. Presença de resíduos sólidos e lançamento de esgoto direto na Lagoa Nova Cidade.  
Fonte: Autor (2014).

### **Lagoa do Makro**

A Lagoa do Makro (Número 9 do Quadro 04), natural, perene e com área de 3,748 ha, encontra-se localizada no bairro Neópolis, com acesso pelas Avenidas das Alagoas e Porto das Pedras, caracterizada como a maior lagoa natural e perene encontrada na área de estudo, com função de escoamento das águas pluviais, além de suprimento de água através de estação

elevatória de bombeamento e adutora. A sua APP tem cerca de 12 ha e sua ocupação (por condomínios verticais, residências e ruas pavimentadas) chegou em 2013 a 42%.

Hoje, a situação com que a lagoa se encontra é razoável, em que dentro do possível está preservada, com cercamento, além ainda da presença de pequenas margens ainda com vegetação média e rala, porém, vem sofrendo pressão das ocupações em seu entorno, como a construção de condomínios de luxo a partir de 2012 em áreas que antes eram remanescentes de dunas, não distando os 50 metros que representam a APP da lagoa (Figura 12).

Segundo Gustavo Szilagyí, fiscal ambiental da SEMURB de Natal, relatou que a construção deste empreendimento foi por decisão judicial, já que o mesmo infringiu a Lei ao ocupar uma área de importância ambiental, porém, infelizmente, a causa foi ganha e não se sabe as justificativas cabíveis.



Figura12. Pressão urbana no entorno da Lagoa, como a construção de condomínio dentro da sua APP.

Fonte: Autor (2014).

### **Lagoa dos Caiapós I**

A Lagoa dos Caiapós I (Número 26 do Quadro 04) está localizada no Conjunto Cidade Satélite, no bairro do Pitimbu, caracterizada apenas por relevo acidentado sem presença de água, com função de drenagem natural. Antes associada a Lagoa próx. ao Pitmbú, formavam uma única depressão, porém, devido a ocupação urbana da área, este sistema foi alterado. A Lagoa em 2013 apresentou uma área de 1,6 ha e 47% da sua APP que tem cerca de 15 ha ocupada. A sua área adjacente apresenta características morfológicas de ocupação formal, com vias com tratamento asfáltico. Além disso, é observada a presença de espaços públicos entre as quadras com vegetação de grande porte e áreas permeáveis, fundamentais para a drenagem da área.

A Lagoa não apresenta problemas de inundação, mesmo em dias de grandes chuvas, não há transbordamento para as ruas e residenciais do seu entorno, segundo depoimento do Sr. José M. Ribeiro da Silva, morador no bairro há mais de 15 anos (SEMOPI, 2009). Porém, hoje, a mesma encontra-se alterada e parcialmente assoreada (Figura 13 A), com presença de lixos nas extremidades e em erosões, o que ocasiona mais ainda carreamento de sedimentos para o interior da lagoa (Figura 13 B), fator este que dificultou a sua fotointerpretação, o que justifica a visita. Além disso, outra moradora do bairro, Régia Menezes Carneiro, relatou que por volta de uns 15 anos atrás, parte da lagoa passou a ser aterrada, para a instalação de parques de diversão e realização de festas como São João e o antigo “Forró do Aquino”, antes tradicionais no bairro.



A

B

Figura 13. A) Lagoa dos Caiapós I parcialmente assoreada. B) Presença de lixos em erosões na borda da Lagoa dos Caiapós

Fonte: Autor (2014).

### **Lagoa do Planalto III**

Lagoa (Número 07 do Quadro 04), com área de 0,046 ha e acesso pela Rua Engenheiro José Hélio Alves Rocha, bairro Planalto, com características: natural, pequena, além da presença de lixo e assoreada (Figura 14), em que sua cota altimétrica aumentou em média 2 metros entre os anos de 1978 a 2006, por isso a dificuldade da fotointerpretação de sua borda.

A sua APP tem cerca de 2 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 75%. As ocupações em seu entorno, são basicamente por residências horizontais e comércio, como a presença de um posto de combustível ao lado; e estão sendo construídas cada vez mais próximas da área.



Figura 14. Vista da Lagoa do Planato III.  
Fonte: Autor (2014).

Embora seja uma lagoa de pequeno porte, ela tem a sua importância e contribuição para com o sistema de drenagem da área composto por mais 2 outras lagoas que são a do Planalto I e II, maiores do que a apresentada, porém, a foi ela quem apresentou mais problemas. Vale ressaltar que da maneira como a lagoa se encontra, a sua capacidade de infiltração estará cada vez mais comprometida.

### **Lagoa San Vale RD 01**

A Lagoa San Vale RD1 (Número 16 do Quadro 04), natural, com função de drenagem e área de 0,566 ha, está localizada no bairro de Candelária, próximo das Avenidas Prudente de Moraes, Integração e Prefeito Omar O`Grady, na área conhecida como Alto da Candelária e nas margens da ZPA 1, mais especificamente sob região dunar que contribui para o abastecimento do Aquífero Dunas/Barreiras (Figura 15). Esta Lagoa também apresentou dificuldades na sua fotointerpretação, que com a visita na área ficou esclarecida a sua delimitação.



Figura 15. Vista da Lagoa San Vale RD01 e ao lado a ZPA 1.  
Fonte: Autor (2014).

A sua APP tem cerca de 7 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 11%. Assim, ocupação da área de análise é rarefeita nas proximidades do seu lado confrontante a Avenida Prefeito Omar O`Grady, principalmente, devido à presença das dunas (ZPA 1) dificultando a ocupação urbana na área, porém, o seu entorno imediato que tem como limite a Avenida da Integração passou a ser mais ocupada, dispondo de equipamentos de uso misto, sendo do tipo comercial e de serviço, como posto de combustível (com resíduos da construção civil nos taludes da extremidade da lagoa), entretanto a predominância da área é de residenciais unifamiliares.

### **Lagoas do Horto e da Esperança**

As Lagoas (Número 4 e 5, respectivamente, do Quadro 04) localizam-se no bairro da Cidade da Esperança, região administrativa Oeste. O Conjunto Habitacional Cidade da Esperança foi construído em 1963, através da Fundação de Habitação Popular, desde então, seu povoamento vem se intensificando (SEMURB, 2007), o que vem afetando as APP's das lagoas, como será descrito a diante.

A Lagoa do Horto é natural com área de 0,572 ha. A sua APP tem cerca de 3 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 67%, ainda apresenta vegetação de médio e baixo porte e cercada, com função de drenagem da área (Figura16), porém, encontra-se totalmente abandonada e repleta de resíduos em seu entorno (Figura 17), simplesmente se tornou um depósito de lixo, sendo flagrado um momento de deposição (Figura 18). Tem como fronteira a Rua Iguarassu, Travessa Piauí, Rua Piauí e Rua Garanhuns.



Figura 16. Vista da Lagoa do Horto em 2014.  
Fonte: Autor (2014).



Figura 17. Abandono e presença de resíduo na lagoa do Horto.  
Fonte: Autor (2014).



Figura 18. Flagrante de deposição de resíduos no entorno da Lagoa do Horto.  
Fonte: Autor (2014).

A Lagoa da Esperança, artificializada e intermitente, com área de 0,751 ha, tem como limite a Avenida Ceará, Rio Grande do Norte, Rua Maranguape e Fortaleza. A sua APP tem cerca de 3 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 74%. Com a grande incidência de edificações e pavimentação de ruas em seu entorno, a Lagoa chegou a não comportar a drenagem da área. Como confirma a Sra. Alnice Marques, moradora no bairro desde 1969, que os alagamentos é um problema constante no entorno das Lagoas, revelando que não suportam grandes períodos de chuvas (SEMOPI, 2009).

Em 2009, a Lagoa não apresentava medidas de melhoramento para aumentar a sua eficiência quanto à drenagem das águas pluviais como sarjetas e bocas de lobo para a conexão da água da rua para seu interior, além de estação elevatória de bombeamento para o Rio Pitimbú, quando em caso de transbordamento. Hoje, ela apresenta-se cercada, organizada, além de sarjetas e casa de bombas (Figura 19), medidas de contenção de seus taludes (enrocamentos e telas) e poucos resíduos.



Figura 19. Vista da Lagoa da Esperança já com medidas e em um considerável estado de conservação.

Fonte: Autor (2014).

Segundo o zelador responsável pela manutenção e fiscalização da Lagoa, Sr. Algério, a CONVISA (Companhia de Vigilância Sanitária) frequentemente faz a fiscalização da água, verificando indícios de pontos de ratos e casos de dengue, os quais não constaram presença na área, ainda ressaltou que na outra gestão do município, há uns dois anos atrás, a área de captação sofria mais com problemas de resíduos, em decorrência da falta de manutenção e consciência da população, chegando ele a retirar quase meia tonelada de lixo ao realizar sua nova função, o que contribuía par o transbordamento e ineficiência da mesma, porém, atualmente, esses tipos de problemas já estão mais controlados com as medidas adotadas.

Em decorrência de tantos fatores negativos a estes locais que servem de escoamentos de águas pluviais, ocasionados pela pressão antrópica, as duas lagoas citadas não comportam a drenagem da área como deveriam funcionar, pois sofrem com problemas de assoreamento e poluição.

### **Lagoas do Centro Administrativo (Antiga Lagoa Nova)**

Na década de 60, em decorrência da falta de um planejamento urbanístico que orientasse e preservasse a área das lagoas, o mercado imobiliário desbravou livremente a dinâmica da ocupação do solo conforme suas próprias regras. As consequências desta ausência de controle foram sentidas a partir desta década, quando se acentuou o processo de urbanização, surgindo assim, o bairro de Lagoa Nova. Mas foi, a partir da década de 1970, com a implantação do Centro Administrativo do Estado do RN, que a Lagoa Nova, natural, foi alterada, sendo esta de fundamental importância para a drenagem urbana.

Medeiros (2001) afirmou que esta Lagoa natural foi aterrada nesta mesma década, porém com a análise espaço-temporal dos últimos 44 anos detalhada da área tanto pelas fotografias aéreas e imagens de satélite, quanto pelo MDT, foi possível perceber que ela foi “parcialmente aterrada”, sobrando resquícios da original até 2013. Após esta alteração, a lagoa que tinha quase 30 ha (Quadro 04), dividiu-se em 3 (Figura 20 A e B) em decorrência da instalação do Centro Administrativo. Já em 2006, alterada mais ainda, subdividiu-se em 4 lagoas menores, e em 2013 novamente reduziu para 3, somando apenas 3 ha aproximadamente, em que a Lagoa de número 38 denominada neste trabalho por “Lagoa Nova II” foi totalmente aterrada para dar lugar a construção do novo Estádio Arena da Dunas (Figura 20 B e C).

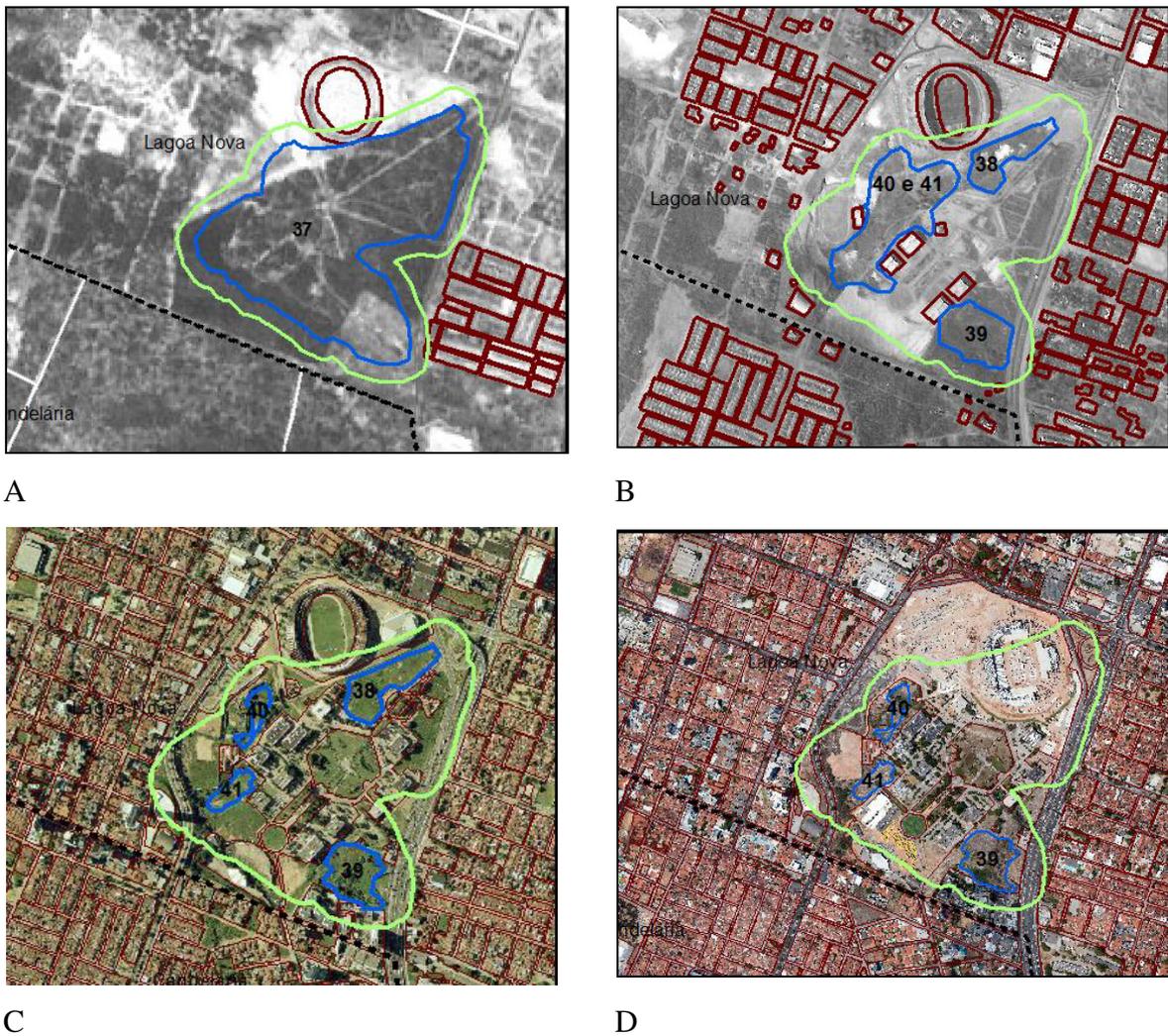


Figura 20. Evolução da Lagoa Nova nos anos: A (1969), B (1979), C (2006) e D (2013).  
 Fonte: UFRN (1969); SEMURB (1979, 2006 e 2013); AUTOR (2014).

Com a presença do novo Estádio, 3 lagoas artificiais foram construídas em sua adjacência para suprir a drenagem da área que abrange parte de Candelária e Lagoa Nova. As três Lagoas em análise encontram-se localizadas na área do Centro Administrativo, denominadas por este mesmo nome, sendo aproveitado o resto do relevo das lagoas naturais para instalação das mesmas (Figuras 21 e 22 (A e B)).



A

B

Figura 21. A (Lagoa 40 em 2007, quando ainda natural e resquício da Lagoa Nova em frente ao Centro Administrativo); Fonte: SEMURB (2007). B (Lagoa artificial construída sobre a antiga lagoa 40 em 2014).

Fonte: Autor (2014).



A

B

Figura 22. Lagoas do Centro Administrativo: A (Lagoa 41) e B (Lagoa 39).

Fonte: Autor (2014).

Assim, a APP da Lagoa Nova continha cerca de 43 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 65%. Sobre a área de influência direta das Lagoas, encontram-se os equipamentos, tais como: o Centro Administrativo e o estádio Arena das Dunas. Assim, com o crescimento e desenvolvimento do bairro, o uso, anteriormente do tipo residencial, foi com o passar do tempo sendo modificado, principalmente, por equipamentos de serviço e comércio, sobretudo, nas principais avenidas, Prudente de Moraes, Lima e Silva, Salgado Filho e Capitão Mor Goveia.

### **Lagoa da Petrobras**

Conjunto de quatro lagoas implantado no bairro de Candelária, na Zona de Adensamento Básico da cidade, com uma área de aproximadamente 4 hectares, sendo a

primeira lagoa a maior de todas que antes abrangia toda a área desse conjunto (Número 12 do Quadro 04) além de ter sido natural, hoje alterada com apenas 1,63 ha (Figura 23) para dar lugar as 3 artificiais, mas que foi aproveitado o relevo natural e são responsáveis pela drenagem da área. Além disso, tem como limites a Avenida Jaguarari, Rua Eleuzes Magno Lopes Cardoso, Rua Nelson Geraldo Freire e com o Condomínio Residencial Green Village e encontra-se cercada e razoavelmente conservadas.



Figura 23. Vista da Lagoa maior da Petrobras.  
Fonte: Autor (2014).

A sua APP tinha cerca de 43 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 51%. As ocupações do entorno apresentam diferentes padrões de ocupação, apresentando grandes condomínios fechados, prédios residenciais, até pequenas moradias de padrão popular, mas com forte especulação imobiliária, no qual se observa um processo de verticalização inicial, com o surgimento de edifícios de uso residencial, o que pressiona cada vez mais o solo da região.

### **Lagoa do Xavantes II**

Lagoa (Número 28 do Quadro 04), com 0,264 ha, sem denominação nas literaturas regionais, assim, recebeu esta denominação neste trabalho devido estar situada no mesmo alinhamento da Lagoa dos Xavantes, para facilitar a interpretação e ambas estão localizadas na Avenida dos Xavantes, bairro Pitimbu. A Lagoa era natural, intermitente e foi alterada, sendo antes interligada a Lagoa San Vale da rede de drenagem 06, onde formavam apenas um sistema, e hoje, apresentam problemas como falta de manutenção, presença de resíduos domésticos e assoreada (Figura 24).



Figura 24. Vista da Lagoa do Xavantes II.  
Fonte: Autor (2014).

A sua APP tinha cerca de 13 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 69%. Há relatos de que em períodos chuvosos, a lagoa transborda a sua capacidade, atingindo a água em média 1 metro de altura dos muros das residências próximas, sendo este um problema antigo no Conjunto Cidade Satélite, agravado mais ainda pelos impactos ocasionados pela pressão urbana, como perda da sua capacidade de infiltração, inundando os arredores.

#### **Lagoa San Vale RD04**

Lagoa (Número 30 do Quadro 04) não visitada, porém, destacou-se por sua dimensão e por seu entorno ter poucas edificações ao visualizar as imagens. Encontra-se implantada no bairro do Pitimbu (região administrativa Sul), mais precisamente na Subzona de Preservação 1B da ZPA 01, considerada a maior lagoa natural intermitente de drenagem da área de estudo em 2013, com aproximadamente 6,0 ha (Figura 25), com cota altimétrica variando de 28m a 40 m, ou seja, 12 m de profundidade, garantido uma grande capacidade de volume para sua função, o que ressalta a sua importância.

A Lagoa San Vale RD 04 encontra-se às margens da Avenida Antonio de Saint Exupéry, um dos novos eixos de crescimento da área. Seu traçado e parcelamento não são bem definidos devido, sobretudo, estarem em áreas de dunas. A sua APP tem cerca de 13 ha e sua ocupação chegou em 2013 a 10%. Assim, sua ocupação urbana ainda é rarefeita com pequenas edificações de uso residencial, o que comprova que a sua área de influência há ainda presença de grandes vazios urbanos.

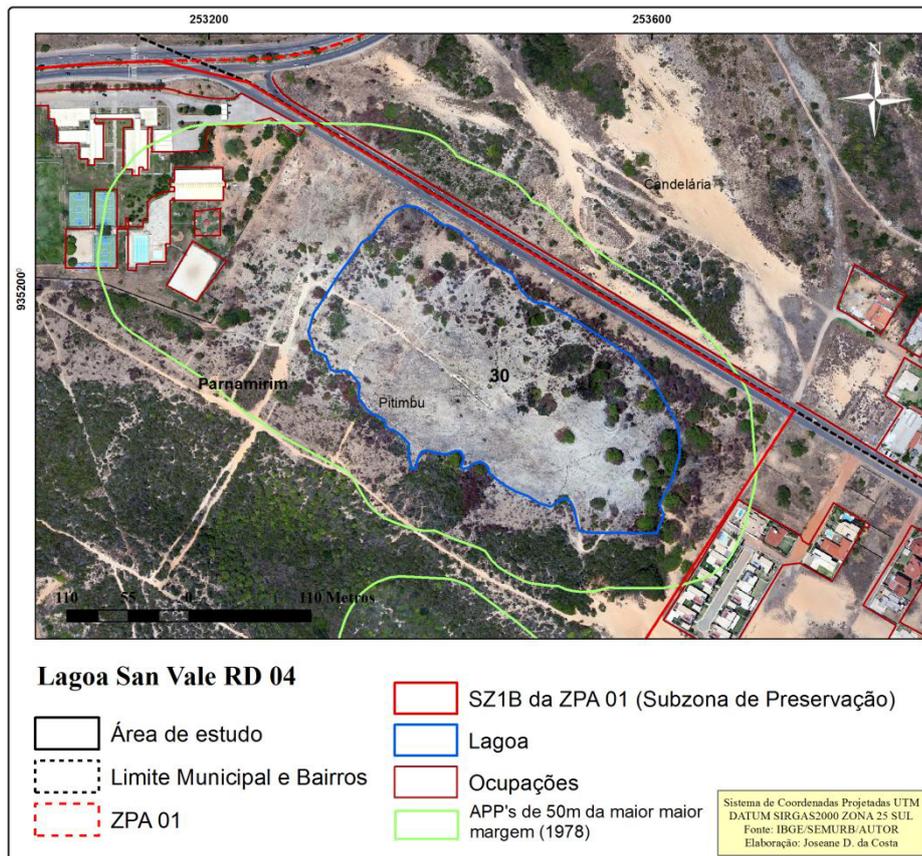


Figura 25. Lagoa do San Vale RD04 (Número 30), a maior encontrada na área de estudo como lagoa natural de drenagem em 2013 e sua APP de 50 metros da sua maior margem (ano de 1978).  
Fonte: Autor (2014).

#### 4.3.1.2 Rio Pitimbú e sua APP (inclusas na ZPA 03)

Como já foi mencionado, a área do Rio Pitimbú foi calculada com base na sua margem, e não na quantidade de água, por meio da fotointerpretação e da altitude pelo MDT, e a para analisar sua APP foi definida uma faixa de 100 metros da sua maior margem (que foi a do ano de 1978, conferida pelo MDT) baseada na legislação do próprio rio, resultando em 93,5 ha. Assim, a quantidade de ocupações foi verificada, como chácaras, ruas pavimentadas e estradas de barro na área, resultando em 3 ha aproximadamente até 2013, ocasionando simultaneamente a perda de mata ciliar para dar lugar a esse tipo construção, representada na Figura 10 e Tabela 04 já mostrados. Para complementar este resultado, realizou-se uma seleção prévia de pontos para visitação, tendo como critério: a ocupa o urbana e a situa o dessas áreas. Além disso, como essas fei oes estão inseridas na ZPA 03, a mesma também será discutida ao longo do texto, sendo também exposto o seu estado de conserva o e a ocupa o urbana nessa  rea.

O Rio Pitimbú é perene, limita a área de estudo no setor sul, sua vazão de base é decorrente de águas de ressurgência da Formação Barreiras, e é protegido pela Lei Estadual 8.426 de novembro de 2003. A sua bacia de drenagem atende os bairros de Pitimbu e parte do Planalto (Zona Oeste da cidade). Além disso, apesar de parcialmente protegido também pela lei municipal que cria e regulamenta a ZPA 03, esta ZPA tem sido alvo de constantes agressões decorrentes da pressão urbana, que vão desde a ocupação que chegou em 2013 a 23 ha dos seus 151, 13 ha, além da deposição de resíduos da construção civil, lixo doméstico, in natura, esgotos domésticos nas águas do Rio, afluente direto da Lagoa do Jiqui (principal fonte superficial de água das Zonas Sul, Leste e Oeste da Cidade do Natal); devido à falta de uma fiscalização mais intensa e eficaz na área.

A ausência de rede coletora de esgotos do Bairro Planalto, atrelado a toda carência de infraestrutura básica, faz com que parte dos esgotos provenientes das residências do bairro siga direto pelas galerias da rede de drenagem instalada até o Rio Pitimbú, contribuindo para sua degradação e diminuição da qualidade de suas águas. Ademais, por encontrar-se na divisa municipal entre Natal e Macaíba, o Rio sofre pressão não apenas dos moradores dos bairros das zonas Oeste e Sul da cidade, como também dos moradores do município vizinho.

O Rio Pitimbú apresenta atualmente um dos grandes problemas relacionados às questões hídricas da capital Norte Rio Grandense, a contaminação das suas águas por nitrato, com capacidade de veiculação para outros corpos receptores e conseqüente comprometimento da qualidade da água distribuída em grande parte da cidade. Outro grave problema vivenciado pelo Rio advém da ocupação irregular de suas margens pela ação imobiliária que além de suprimir a mata ciliar, mexe com a dinâmica do solo do seu entorno estimulando o processo erosivo e ampliando a sua área de abrangência, bem como assoreando o rio originando bancos de areia que impedem completamente, em alguns trechos, o curso natural das águas (SEMOPI, 2009).

Ao realizar levantamento de campo, em um ponto escolhido (P2= X: 253161m e Y: 9349976m) na ZPA 3, foi visitada uma propriedade de 150 metros que margeiam o Rio Pitimbú, onde o dono “Senhor Tarcísio” relatou que há presença constante de queimadas em decorrência de lançamento de piúbas de cigarros nas proximidades da BR101, associada a mata seca, que se alastra até sua propriedade. Ainda mencionou que vem sempre lutando contra o despejo de lixos e resíduos da construção civil pela população na APP do Rio que se encontra em sua propriedade e no entorno (Figura 26), porém, é difícil combater esse tipo de ação, pois não há como ter um controle em toda sua extensão. Assim, com toda a sua atenção e gentileza de descrever os problemas que essa área de grande importância ambiental vem

sofrendo, o proprietário fez questão de contribuir com este estudo, já que pouco se faz pela ZPA 3 e o Rio Pitimbú.



Figura 26. Lixo presente na ZPA 3, mais precisamente na APP (margens) do Rio Pitimbú.  
Fonte: Autor (2014).

Apesar de encontrar fatores negativos no ponto acima citado, foi verificada e registrada também que a margem direita do Rio Pitimbú (dentro da sua APP), encontra-se ainda com mata ciliar considerável, coincidindo com o resultado percentual de perda da APP que foi de 3% até 2013, isto porque sofreu pouca ocupação ainda (Figura 27), além da presença de flora e fauna nativa.

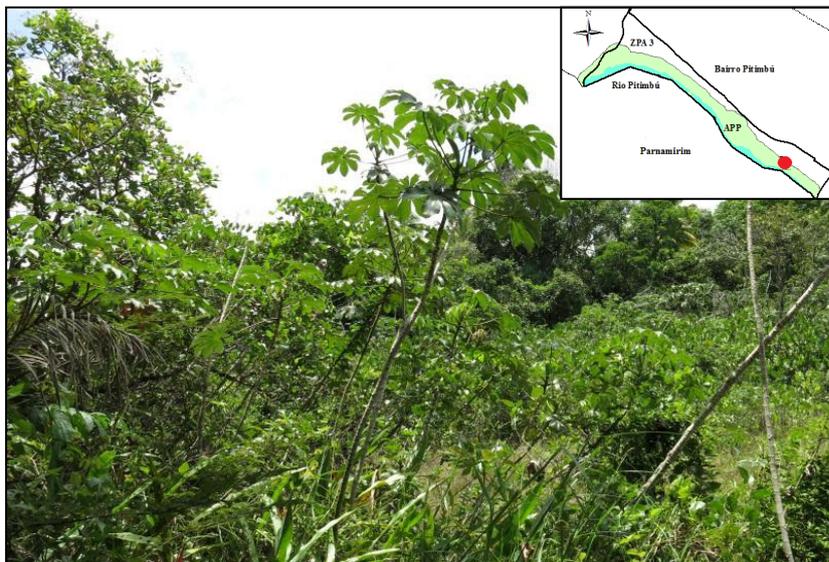


Figura 27. Mata ciliar presente na APP margem direita encostada do Rio Pitimbú.  
Fonte: Autor (2014).

Logo mais à frente dessa área, percorrendo a Avenida dos Caiápos, deparou-se com uma queimada (P2 = X: 252699.00m e Y: 9350600.00m), conforme seu Tarcísio anteriormente havia descrito, como um problema comum nas proximidades. O fogo já havia se alastrado por muitas partes da ZPA 3, inclusive até às margens do Rio Pitimbú. Além disso, também foi observada a presença de pontos de lixo e desmatamentos (Figura 28).



Figura 28. Queimada, pontos de lixo e desmatamento na ZPA 3, nas proximidades da Av. dos Caiapós, alastrando-se pela margem do Rio Pitimbú.

Fonte: Autor (2014).

Ao visitar a área anteriormente citada, mais um morador do bairro Pitimbu (Conjunto Satélite), espontaneamente relatou que é uma vergonha a situação que se encontra a ZPA 3, com lançamentos contínuos de lixos, inclusive que há 32 anos mora no local e não há saneamento, enfatizando que ao chegar a água era praticamente cristalina (mineral) e hoje em dia não é possível consumir essa água, além disso, finalizou com um alerta de que a área é abandonada pelos governantes, como também clamou por ajuda à Universidade, pois está difícil conviver com tantos problemas, sejam eles ambientais, quanto de infraestrutura.

A carência por ajuda e atenção às realidades problemáticas vivenciadas pelos moradores do bairro Pitimbu, foram claramente observadas. Por isso, a importância de trabalhos como este, que evidenciam o valor do meio ambiente e de que há a necessidade de planejamento urbano e ambiental da cidade, além de medidas de fiscalização, a fim de minimizar os impactos em decorrência da pressão antrópica, além de proporcionar o bem estar da população.

### 4.3.2 Análise das Dunas e Remanescentes

Neste tópico foram estudados os elementos contínuos e elevados (dunas), bem como os fragmentos isolados de dunas, definidas como remanescentes, e que ainda mantêm as suas formas naturais, de acordo com imagens e o MDT. Foi considerada como uma única classe na vetorização para facilitar a análise, e não como fizeram Lisboa; Campos; Souza (2011), estudando somente as remanescentes de dunas que estavam fora das ZPA's em Natal, porém seu trabalho serviu de base para o desenvolvimento deste tópico. Conforme os dados quantitativos e percentuais já apresentados, houve uma perda de aproximadamente 60 % dessas feições, cerca de 1310 ha, devido a ocupação urbana.

Além disso, foram escolhidos pontos relevantes para verificação *in loco*, que contém uma alta concentração dessas feições: a ZPA 01 e um remanescente de duna localizado próximo ao braço direito desta ZPA (considerável em termos de área e que mantêm as suas formas naturais até certo ponto), que serão discutidos e quantificados a seguir. Cabe ressaltar que a ZPA 04 não foi visitada, porém analisada.

#### 4.3.2.1 ZPA 01

Situada em uma área de dunas e tabuleiros costeiros relativamente protegidos por se tratar de uma Zona de Proteção Ambiental, tem área de 738, 87 ha, inserida na bacia de drenagem San Vale no Conjunto Satélite (Figura 29). Tem um papel importantíssimo no contexto hidrogeológico da cidade, visto ser esta uma das últimas áreas de recarga do aquífero Dunas/Barreiras ainda não adensada. Mesmo assim, a pressão imobiliária em seu entorno, e mesmo dentro dela, tem gerado muita preocupação e um amplo debate em todas as esferas da sociedade civil natalense, sobretudo no Ministério Público e nas universidades.

Proibida pela justiça de licenciar a construção de novas residências na área, até que seja instalada a Rede Coletora de Esgotos Domésticos, a Prefeitura Municipal do Natal ainda é obrigada a fazer a fiscalização de toda a área, com o fim de evitar invasões das áreas livres e construções irregulares (SEMOPI, 2009).

Com o fim de conservar parte desses recursos naturais, como áreas de dunas e tabuleiros, além da proteção do manancial de água subterrânea, a Prefeitura Municipal do Natal criou na área uma Unidade de Conservação da Natureza da categoria de Proteção Integral, através do Decreto Municipal Nº 8.078, de 13 de dezembro de 2006 e ampliado pelo Decreto Nº 8.608 de 11 de dezembro de 2008.

O Parque Municipal Dom Nivaldo Monte, popularmente conhecido como Parque da Cidade, ocupa uma área de 136 hectares que abrange os bairros de Pitimbu, Candelária e Cidade Nova, e possui dois acessos públicos, um pelo lado leste (Avenida Prefeito Omar O'Grady - Candelária) e outro pelo lado oeste (rua Santo Amaro - Cidade Nova), e teve suas terras desapropriadas através do uso do Instrumento de Transferência de Potencial Construtivo, previsto pelo Plano Diretor da cidade.

Mesmo cercada de todos os cuidados, o Parque ainda sofre com interferências humanas contra sua regulamentação, e dão início a qualquer movimentação de dunas, aterramento de vales interdunares, queimada da cobertura vegetal, além da deposição de lixo doméstico e da construção civil de forma irregular.

Acerca dos impactos ambientais diagnosticados nos limites da ZPA 01, pode-se inferir que estes não fogem à regra do grande poder degradador da ação antrópica. São ocupações irregulares em suas bordas, que equivaleram em 2013 cerca de 19 ha da Subzona de Preservação (SZ1-A), onde esta representa 350 ha aproximadamente da ZPA 01 (Figura 29), além da deposição de lixo urbano e de resíduos da construção civil, adensamento populacional em áreas que não tem capacidade de suporte para tanta pressão, supressão de vegetação, lançamento de efluentes à céu aberto.



Figura 29. Ocupação na ZPA 01 em 2013, com ênfase em sua SZ1-A.  
 Fonte: Autor (2014).

#### 4.3.2.2 Remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01

Com acesso pela Rua São Francisco, o Remanescente de Duna ( $X= 251826.00$  m E;  $Y= 9355101.00$  m S) tinha uma altitude de aproximadamente 80 m entre 1978 e 2006 (obtida pelo perfil transversal dos MDT's), e em 2013 com 63m (obtida pelo perfil de elevação transversal de imagem do Google Earth). Além disso, em 1969 a área era quantificada em 16 ha, sofrendo uma redução de 10 ha até 2013 (Figura 30), devido à pressão antrópica, como a

presença de intensas ocupações, lixos em sua borda (Figura 31), o que favorece o deslizamento de seus sedimentos, além de ser caracterizado por móvel, também sofre pela ação do vento, facilitando mais ainda o fluxo de grãos. Dessa maneira, este remanescente acaba invadindo a rua, já que não há mais espaços. Foi registrado um tipo de medida que a prefeitura adotou para alargamento da rua, por meio de um trator ao tirar o excesso de areia sobre a pista (Figura 32), porém isso não traz benefício ambiental algum, pois à medida que se tira, mais sedimentos deslizarão, fazendo com que a duna perca mais ainda altitude e consequentemente o seu desaparecimento ao longo dos anos.

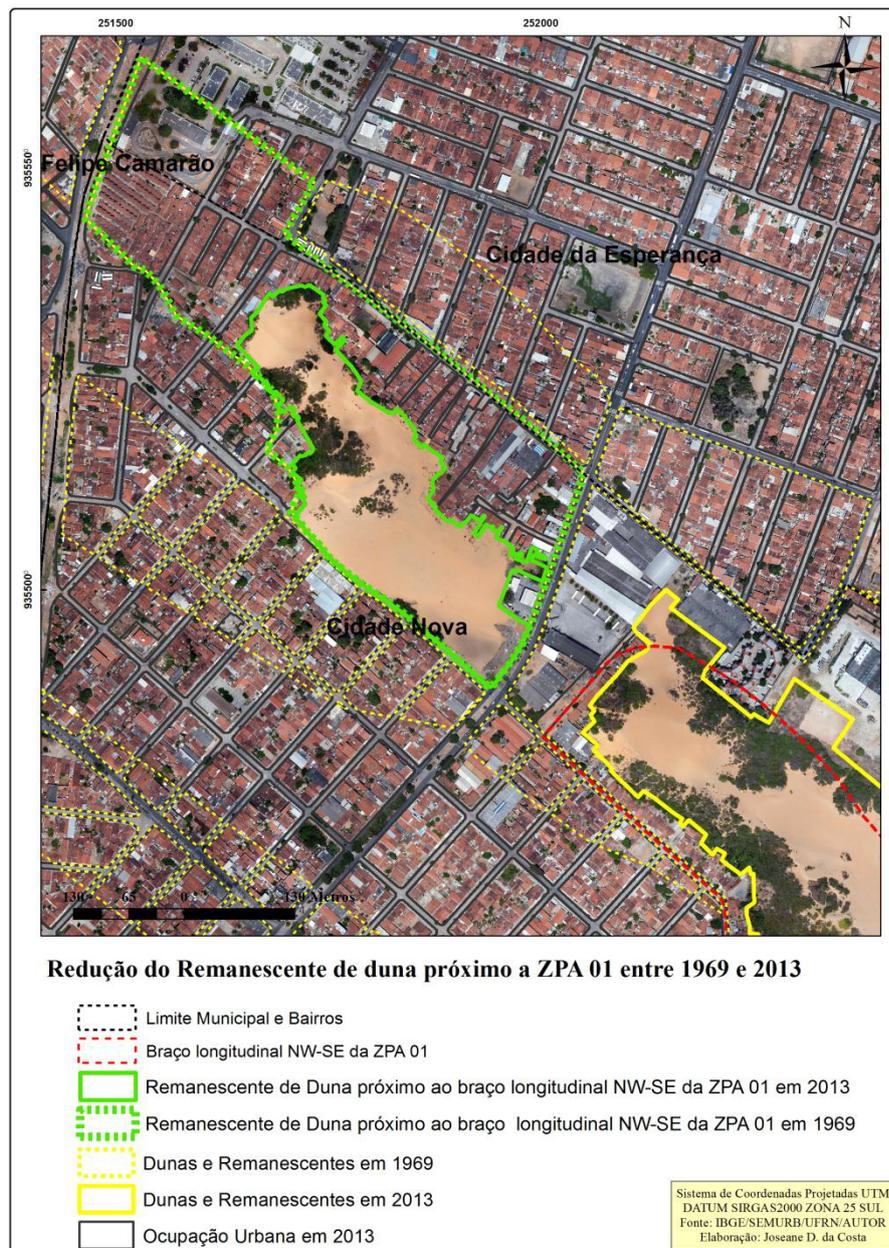


Figura 30. Redução do Remanescente de Duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 de 1969 a 2013.

Fonte: Autor (2014).



Figura 31. Pressão antrópica como construções e lixo no entorno do remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01.

Fonte: Autor (2014).



Figura 32. Deslizamento dos sedimentos do remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 e medida de alargamento da rua, onde são retirados os excessos de areia.

Fonte: Autor (2014).

Medidas eficientes seriam enquadrar este remanescente a ZPA 01, de onde foi desfragmentado pela ocupação urbana do campo dunar inserida nesta área, e adotar um tipo de cercamento e barreiras de contenção para amenizar ou evitar seu deslizamento e lançamento de resíduos na mesma pela população, além de impedir a construção de novas residências ou qualquer movimentação de terra.

#### 4.3.2.3 ZPA 04

Campo Dunar dos bairros Guarapes e Planalto, que tem grande importância de minimização de escoamento pluvial, com aproximadamente 650 ha, porém 247 ha é que estão inseridos na área de estudo. Da subzona de preservação 1A presente que equivale a 107 ha aproximadamente, está cerca de 20% com ocupação urbana, apesar de ser um percentual relativamente pequeno quando comparado a sua área, esta deveria estar conservada, sem presença alguma de interferência humana segundo a sua regulamentação. Ainda com medidas de proteção, parte da população não respeita esses limites, por isso, a necessidade de maior fiscalização.

#### 4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Analisando a quantificação dos resultados, os mapas, além do levantamento de campo e informações pré-existentes relacionadas à temática abordada, inclusive da região, pode-se dizer que foi possível verificar e visualizar bem a modificação ocorrida na paisagem ao longo dos períodos estudados, resultando em muitos impactos sobre as áreas naturais estudadas.

Nos últimos 44 anos, a cidade do Natal sofreu intensa ocupação urbana, o que deteriorou a maior parte das áreas naturais existentes. Com isso, foi destruído praticamente 60% das dunas e remanescentes estudadas, considerada uma área com elevado potencial para captação, infiltração e armazenamento de água subterrânea, fazendo com que este elevado grau de degradação altere a dinâmica hídrica, além da contaminação e poluição do aquífero Dunas/Barreiras.

Além da redução de 76% aproximadamente das áreas das lagoas, a maioria delas apresentou basicamente os mesmos problemas em decorrência da pressão antrópica, como a presença de resíduos sólidos e líquidos (lixos, entulhos e esgoto doméstico), sendo as consequências: assoreamento, perda da sua capacidade de infiltração e contaminação do lençol freático por Nitrato e Coliformes em alguns pontos (comprovados por dados de poços

da CAERN em 2006), tendo a Lagoa da ZPA1 um destaque quanto a este tipo de contaminação, tanto em relação a sua importância quanto ao seu esquecimento pelo governo e na literatura.

Como a camada sedimentar que recobre o lençol freático de Natal é bastante permeável, torna-se propícia à infiltração de água, mas também vulnerável à penetração de contaminantes, como dejetos líquidos, além de boa parte da cidade não possuir sistema de esgotamento sanitário, são utilizadas fossas sépticas e sumidouros, o que facilita a lixiviação do íon amônio contido em dejetos, transformando-o em nitrato, onde a impermeabilização do solo favorece a concentração desse contaminante no efluente, acelerando mais ainda a destruição do aquífero (AMARAL et al., 2005), cabendo ressaltar que a área de estudo possui uma maior concentração de fossas sépticas e sumidouros, o que favorece mais ainda este tipo de consequência na hidrologia subterrânea.

Estudos realizados na Zona Sul de Natal mostraram que, em uma área expressiva da zona urbana, as águas subterrâneas estão contaminadas por nitratos, com teores superiores ao limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de 45 mg/l (MELO, 1995). Não é somente a potabilidade da água que fica comprometida, a balneabilidade de diversos pontos, como lagoas, rios e praias também, tornando-se um problema para a sociedade e afetando a qualidade da saúde pública e comprometendo a atividade turística, intensamente explorada no Litoral Oriental (SEMOPI, 2009).

As APP's das lagoas foram praticamente ocupadas (impermeabilizadas cerca de 60%) pela urbe, porém as mais conservadas foram as da região do San Vale, que concentra os bairros Pitimbú e Candelária, mais especificamente as inseridas na ZPA 01, o que significa que houve certa atenção quanto a essas áreas pelas autoridades. Já a APP do Rio Pitimbú praticamente se manteve constante ao longo dos últimos 40 anos, considerada razoavelmente conservada.

As ZPA's 01, 03 e 04 onde estão inseridas as dunas, apresentaram como principais impactos ocupação irregular, efluentes no solo, deposição de resíduos e queimadas.

A urbanização das cidades promove a alteração da cobertura vegetal, podendo ocasionar efeitos que modificam o ciclo hidrológico natural. Com isso, a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, faz com que a água que antes infiltrava no solo, escoava lentamente ou ficava retida pela vegetação, passe a escoar em virtude dos desnivelamentos do terreno, aumentando consideravelmente o escoamento superficial e, portanto, a necessidade de incremento (TUCCI, 2004).

Deste modo, a tendência da urbanização das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na população e no meio ambiente. Estes impactos têm efeitos negativos nas bacias hidrográficas, como: o aumento da absorção de radiação solar pelas superfícies impermeáveis que provoca a emissão da mesma radiação de volta no ambiente, aumentando a temperatura, podendo provocar aumento de precipitação pluviométrica nessas áreas; com as construções e limpeza de terrenos destinados a loteamentos, há um aumento de sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica; os poluentes da área urbana são coletados pela drenagem pluvial, influenciando na qualidade da água que é drenada para os rios; a contaminação dos aquíferos subterrâneos, em função também das fossas sépticas (TUCCI, 2002).

Portanto, a ocorrência de inundações na cidade de Natal tem se intensificado e tornado mais frequente a cada ano. Esse fato é consequência tanto da crescente impermeabilização do solo decorrente da urbanização acelerada, como da ocupação urbana das áreas de fundo de vale, sujeitas à inundação, sem a devida contrapartida de um controle efetivo na fonte dos escoamentos superficiais e de obras de macrodrenagem para a transposição dos excedentes das águas das sub-bacias fechadas, que predominam em grande número, dado o contexto do solo ondulado típico das formações de dunas da cidade de Natal.

## 5 CONCLUSÃO

- As alterações temporais na disposição espacial das áreas impermeáveis, representadas pela ocupação urbana do solo, e das classes ambientais, identificadas pelas lagoas, Rio Pitimbú e suas APP's, bem como dunas e remanescentes, ilustrou bem a tendência de degradação ambiental na área de estudo;
- Essa degradação teve seu auge até o ano de 2006, quando se observou uma desaceleração neste processo, excetuando a ZPA 03, onde está o Rio Pitimbú e a sua APP, que experimentou uma perda mais significativa de área.
- Em linhas gerais, verificou-se que a ocupação urbana avançou cerca de 60% sobre os sistemas naturais estudados;
- A ocupação urbana afetou a drenagem natural e contribuiu para a contaminação das águas subterrâneas de Natal, devido ao aumento da impermeabilização, o lançamento de resíduos líquidos e sólidos, bem como a retirada da mata ciliar;
- À medida que as superfícies naturais são impermeabilizadas, há uma redução na infiltração das águas pluviais, aumento do escoamento superficial e a ocorrência de inundações;
- Apesar, de grandes áreas naturais de importância ambiental terem sido perdidas/destruídas, parte do que ficou ainda vem resistindo, embora sofrendo a pressão antrópica.

## 6 SUGESTÕES

- Diante da importância que representam as dunas e remanescentes e mananciais hídricos superficiais e subterrâneos de Natal, e também em função da vulnerabilidade do sistema aquífero Dunas/Barreiras:
  - É necessário que se continue a adoção de medidas de proteção das mesmas, como a preservação Região do San Vale inserida na ZPA 01, considerada principal área de recarga do Aquífero; porém que se aumente a fiscalização da área, principalmente em sua borda, onde as ocupações ainda tendem a acontecer.
- Integrar um dos remanescentes de dunas estudado à ZPA 01, devido à sua significância em termos de área, altitude e estado de conservação;
- Cabe ressaltar, a conservação e o cercamento das áreas de drenagem tanto natural e artificial, como as lagoas (em especial recuperar a da ZPA 01, além de investimentos no saneamento da região (bairro Cidade Nova) e na conscientização ambiental da população) e o Rio Pitimbú (principalmente a sua APP), para que seja impedido qualquer tipo de invasão.

ANEXO

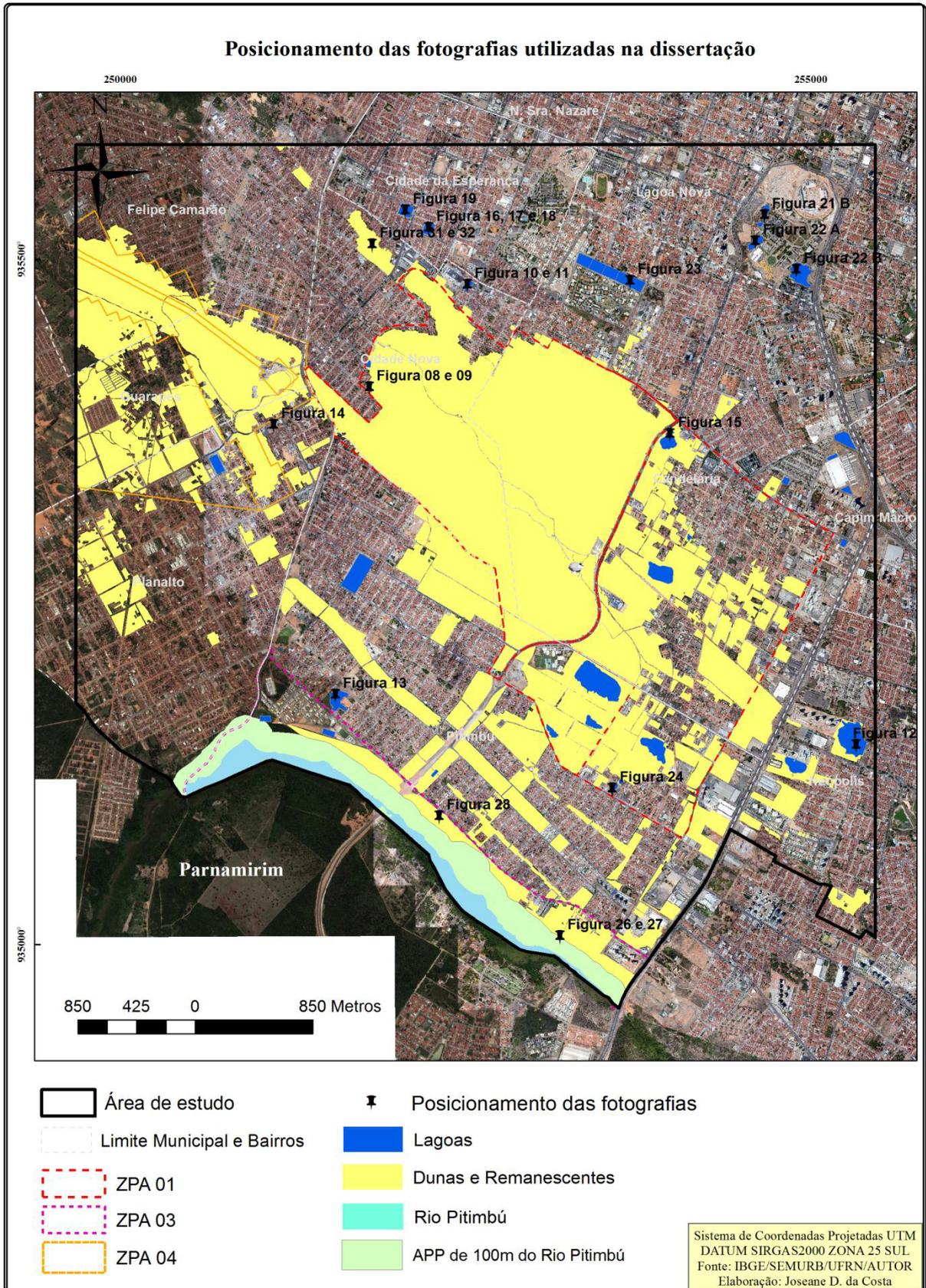


Figura com o posicionamento das fotografias utilizadas na dissertação.  
Fonte: Autor (2014).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Neide Oliveira de. **Metodologias em Geomorfologia Ambiental**. Revista GEOSUL. 1º sem, n. 9, p. 59-68, 1986.
- ALTMANN, Adriano Leonardo; ECKHARDT, Rafael Rodrigo; REMPEL, Claudete. **Evolução Temporal do Uso e Cobertura Da Terra - Estudo de Caso no Município de Teutônia - Rs – Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, v.03, nº 61, p.273-283, 2009. (ISSN 0560-4613).
- Amaral RF, Ferreira Jr AV, Henriques APM. **Aplicações em estudos ambientais**. In: Disperati AA, Amaral RF, Schuler CAB. Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais. Guarapuava: UNICENTRO, 2007. cap. 7, p. 179-218.
- AMARAL, Ricardo F. do; DINIZ FILHO, José B.; FONSECA, Vanildo P. da. **Degradação Ambiental da Cidade do Natal: Aspectos Geomorfológicos e Hidrogeológicos**. Revista Estudo Geológicos, V.5, p.102-113, 2005.
- ARAÚJO, Victor M.; AMARAL, Ricardo F. do; MOREIRA, Flávio F. M.. **Determinação de Parâmetros em uma Bacia Urbana utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. 7 p. 1º lugar. In: GIS BRASIL 2002 – 8º SHOW DE GEOTECNOLOGIAS – 2ª MOSTRA DO TALENTO CIENTÍFICO.
- ARAÚJO, Maria Christina B.; SOUZA, Stella T.; CHAGAS, Alessandra Carla O.; BARBOSA, Scheyla C. T.; COSTA, Monica F.. **Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada 7(2):97-104 (2007).
- ARAÚJO, Oriana; CHAVES, J. Maria; ROCHA, W. de J. S. da Franca. **Proposta Metodológica para Modelagem Espacial da Susceptibilidade à Degradação Ambiental por Inferência Fuzzy Aplicada ao Médio Jacuípe-Ba**. Revista Brasileira de Cartografia, v.6, nº 65, p1025-1043, 2013.
- ASPIAZÚ, Celestino; ALVES, Laci Mota; VALENTE, Osvaldo Ferreira. **Modelos Digitais de Terrenos Conceituação e Importância**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 21, p.27-36, dez. 1990.
- BRASIL. Leis. **Novo Código Florestal Brasileiro** (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012). 2012.
- BRASIL. Leis. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do RN** (Lei Estadual N.º 7.871 de 20 de julho de 2000), 2000.
- BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002**. Dispõe os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. 2002.
- BRASIL. **Lei Federal no 10.257**, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade), 2001.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Cidades. Natal. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240810&search=rio-grande-do-nortelnatal>> Acesso em nov. 2013.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Introdução. In: CÂMARA, Gilberto et al. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Cap. 3, p. 1- 5.

CHUVIECO, E.S. **Teledetección ambiental - la observación de la tierra desde el espacio**. Barcelona: Ariel, 2002.

ESP NOTÍCIAS. **Especulação imobiliária ameaça principal manancial de Natal**. 23 de setembro de 2010. Disponível em <<http://www.espbr.com/noticias/especulacao-imobiliaria-ameaca-principal-manancial-natal>>. Acesso em: março de 2014.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: Whats is ArcScan; A quick tour of ArcScan** – ArcMap 10.1. 2012.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: 3D point features; Feature class basics** – ArcMap 10.1. 2012.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: Fundamentals of georeferencing a raster dataset** – ArcMap 10.1. 2012.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: IDW (Geostatistical Analyst)** – ArcMap 10.1. 2012.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: Calculating area, length, and other geometric properties** – ArcMap 10.1. 2012.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGis Desktop Help 10.1: Symmetrical Difference (Analysis)** – ArcMap 10.1. 2012.

FERNANDES, Lucyanno dos Reis; AMARAL, Ricardo Farias do. **Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis**. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management 13(1):45-59 (2013).

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, Câmara Brasileira do Livro, 2008. 160 p.

GIMP - PROGRAMA MANIPULADOR DE IMAGENS. **Manual do usuário GIMP 2.8**: Capítulo 10: Melhorando fotografias. 2014. Disponível em: <[http://docs.gimp.org/2.8/pt\\_BR/gimp-imaging-photos.html](http://docs.gimp.org/2.8/pt_BR/gimp-imaging-photos.html)>. Acesso em: 19 jan. 2015.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Manuais técnicos em Geociências, nº 5. - Rio de Janeiro : IBGE,182 p., 2009.

IBGE. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil**. Censo Demográfico, 2010.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Calculadora geográfica on line**. Disponível em<<http://w.w.w.dpi.inpe.br/calcula/>>. Acesso em: 18 jan. 2015.

LISBOA, Carolina M. C. Aires. CAMPOS, Uilton Magno. SOUZA, Simon K. Silva de. **Mapeamento e Caracterização dos Remanescentes de Dunas do Município De Natal – RN, Brasil**. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.6, n.3, p.64-83, 2011.

LUCON, Thiago Nogueira et al. **Análise das Áreas De Preservação Permanente do Perímetro Urbano de Ouro Preto (MG)**. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.6, n.4, p.107-124, 2011.

MEDEIROS, Tásia H. de Lima. **Evolução Geomorfológica, (DES) Caracterização e Formas de Uso das Lagoas da Cidade do Natal-RN**. 100f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) – UFRN, Natal, RN, 2001.

MELLO, Kaline; TOPPA, Rogério Hartung; ABESSA, Denis M. de Souza; CASTRO, Mariana. **Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: o caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil**. Revista da Gestão Costeira Integrada, v.4, n. 13, p. 539-551, 2013.

MELO, J. G. **Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal / RN**. UFRN / CAERN: 232p, 1995.

MIRANDA, João M. F.. **Evolução Urbana de Natal em 400 anos 1599-1999**. Dados da Edição: Governo do Estado do Rio Grande do Norte, Prefeitura de Natal. Natal: 1999.. V.7, 157 p. 1999. Coleção Natal 400 anos.

MMA - Ministério do Meio Ambiente; MPOG - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Projeto orla: fundamentos para gestão integrada**. Brasília: MMA, 2006.74 p

MUEHE, Dieter. **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p.35-44, 2001.

NATAL. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Subprojeto 2: Atualização e consolidação da legislação: PL22: Versões finais das ZPAs do Grupo 3 (ZPAs 3 e 4)**. Produto 9: Módulo Urbanístico 3. Natal: Modernatal, 2010. 166 p.

NATAL. Lei Complementar nº 082, de 21 de junho de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. **Instrumentos de Ordenamento Urbano: DA POLÍTICA URBANA**. Natal, RN, 2009. p. 405-459.

NATAL. **Lei nº 4.100 de 19 de junho de 1992**. Dispõe sobre o Código de Meio Ambiente do Natal. 24 p., 1992.

NATAL. **Lei nº 8.426 de 14 de novembro de 2003**. Dispõe sobre a Faixa de Proteção Ambiental do Rio Pitimbu e dá outras providências. Anexo 01 IDEMA, 2003.

NOGUEIRA, A. M. B. **O cenozóico continental na região de Natal-RN**. Boletim do Departamento de Geologia da UFRN, Natal, p.15-24, 1981.

NICÁCIO, Joaquim E. de Moura. **A manutenção de mata ciliar: um ativo permanente**. Revista de Estudos Sociais. Ano 3, n. 6, p.85-92, 2001.

NUNES, Elias. **O meio ambiente da grande Natal**. Natal: Imagem Gráfica, 2000. 120p.

SEMOPI – Secretaria de Obras Públicas de Infraestrutura de Natal. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Natal - PDDMA**. LR Engenharia e Consultoria Ltda. Natal. 254p. 2009.

START Consultoria e Pesquisa. **Plano de trabalho: procedimentos metodológicos**. Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Município de Natal. Natal, mimeo: 2008.

OLIVEIRA, Frederico Fonseca Galvão de; MATTOS, Juércio Tavares de. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no Litoral Sul do Rio Grande do Norte – NE do Brasil**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.1, N.4, p.441 – 458, 2012.

PORTZ, Luana; ROCKETT, Gabriela Camboim; FRANCHINI, Ricardo Augusto Lengler ; MANZOLLI, Rogério Portantiolo; GRUBER, Nelson Luiz Sambaqui. **Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management, 14(3):517-534, 2014.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIGHETTO, Antonio Marozzi; ROCHA, Mariano Alves. **Exploração Sustentada do Aquífero Dunas / Barreiras na Cidade de Natal, RN**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.10, n.2, Abr/Jun, p. 27-38, 2005.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO – SEMURB. Prefeitura Municipal de Natal. **Conheça melhor seu bairro**. Natal: 2007.

SEMURB. **Natal: Zoneamento Ambiental**. Natal, RN, 2008. 84p.

SEMURB. **Bairros de Natal**. 2ª ed.. Natal, 2010. 44p.

SETUR/SIN/IDEMA. SECRETARIA DE ESTADO DO TURISMO DO RIO GRANDE DO NORTE. SECRETARIA DE ESTADO DE INFRA-ESTRUTURA.PRODETUR/IDEMA. **Polo Costa das Dunas**. Brasília: Topocart Topografia, Engenharia e Aerolevantamentos Ltda. **Arquivos em formato digital (vetorial e matricial)**. Escala 1:25.000. 2006.

SILVA, Jorge Xavier. **Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia. V.1, n. 1, p.48-58, 2001.

SILVA, Anelino Francisco da. **MIGRAÇÃO E CRESCIMENTO URBANO: UMA REFLEXÃO SOBRE A CIDADE DE NATAL, BRASIL**. Scripta Nova.: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona, v. 5, n. 94, 01 ago. 2001. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn-94-74.htm>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina. Porto Alegre. Vol. 1, n. 1, p. 59-73, jan./jun. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.7, n.1, Jan/Mar, p. 5-27, 2002.

VAEZA, Rafael F.; OLIVEIRA FILHO, Paulo C.; MAIA, Adelená G.; DISPERATI, Atílio A.. **Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução**. Revista Floresta e Ambiente. V. 17, n. 1, p.23-29, 2010.

XAVIER, Sinval Cantarelli; BASTOS, Cezar Augusto Burkert. Estudo do crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico: uma metodologia de análise. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 4, n. 62, p.583-593, 2010.