

DINÂMICA URBANA E RISCOS GEO-AMBIENTAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL, NORDESTE DO BRASIL

Urban dynamics and geo-environmental risks in the metropolitan area of Natal, Northeast Brazil

Guttenberg Martins*

Manoel Lucas Filho**

George Satander Sá Freire***

RESUMO – A Região Metropolitana de Natal (RMN), Nordeste do Brasil, é formada por nove municípios onde habitam 1,25 milhões de pessoas. Nesta afloram terrenos sedimentares de idade cenozóica e quaternária na porção litorânea e rochas gnáissicas pré-cambrianas no interior continental. Na RMN, as reservas hídricas estão constituídas pelas lagoas de médio porte, pelas bacias hidrográficas dos rios Potengi, Ceará-Mirim e Trairi; e pelos recursos hídricos do aquífero dunas-barreiras. Neste trabalho, a expansão da área urbana nas últimas décadas foi analisada com o suporte na variação temporal de imagens LANDSAT e CBERS. Nesta análise observam-se duas tendências principais: a expansão da área urbana no entorno do Rio Potengi e na faixa litorânea. Como decorrência direta desta expansão ocorre dois tipos de riscos geo-ambientais de alta relevância, a depreciação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e a interferência nos processos de erosão na linha de costa e nos complexos estuarinos.

SYNOPSIS – The Metropolitan Area of Natal (RMN), northeast of Brazil, is constituted by nine districts where reside ca. 1.25 million inhabitants. In the RMN, the coastal sector is formed by sedimentary rocks and in the continental interior crops out precambrian gneissic rocks. The hydric resources are concentrated mainly in the minor lakes, hydrological basins of the Potengi, Trairi and Ceará-Mirim rivers and in the dunas-barreiras aquifer. Here, the growth of RMN was analyzed with support of LANDSAT and CBERS orbital images. This analysis demonstrated that its expansion takes place around the estuary of the Potengi river and in the coastal plain. The high relevance geo-environmental risks identified directly with the urban expansion are the depreciation of the hydric resources and the increase of rate of erosion in the shore line and in estuarine complexes.

PALAVRAS CHAVE – Dinâmica urbana, riscos geo-ambientais, região metropolitana.

1 – INTRODUÇÃO

Situada no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, a Região Metropolitana de Natal (RMN) é formada por nove municípios (Natal, Parnamirim, São Gonçalo

* Professor Adjunto III, Geólogo, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. Email: gm@ufc.br

** Professor Titular, Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil. Email: lucas@ct.ufrn.br.

*** Professor Associado, Geólogo, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. Email:

do Amarante, Macaíba, Ceará-Mirim e Extremoz. São José do Mipibú, Nísia Floresta e Monte Alegre), situados numa área de 2.511,80 Km², totalizando uma população de ca. 1,25 milhões de habitantes. E ao longo da sua evolução histórica, o município de Natal sempre constituiu o centro político e econômico.

A RMN apresenta desigualdades acentuadas, as quais foram impulsionadas pelo aporte de investimentos em infra-estrutura, nas atividades industriais e habitações no seu centro. Entretanto no período 1991-2000 ocorreu uma inversão no sentido de crescimento populacional de forma que os municípios periféricos têm apresentando crescimento maior (Parnamirim – 7,9% São Gonçalo do Amarante – 4,9%, Macaíba – 2,7% e Natal – 1,8%; cf. Pessoa *et al.*, 2005). A figura 1 apresenta localização geográfica com limites dos municípios que formam a região metropolitana de Natal (RMN), além das principais estradas e a mancha urbana desenvolvida até um ano de 2000.

Os principais vetores propulsores da expansão urbana na RMN são os empreendimentos turísticos na região litorânea suportados pelos os investimentos estrangeiros, além da implantação de condomínios verticais e empreendimentos comerciais nos principais eixos viários. Desta forma, o crescimento da área urbana vem integrando áreas tradicionais suportada por infra-estrutura às áreas reservadas para expansão imobiliária. E ainda, num segundo plano destaca-se ainda a implantação de condomínios horizontais em áreas de menor valor agregado ao longo de eixos viários secundários. Até o final desta década, a RMN contará com investimentos em obras de alto impacto sócio-ambiental (Ponte Forte-Redinha, Aeroporto de São Gonçalo, Via Metropolitana, duplicação da BR-101, Marina de Natal), os quais proporcionarão nova dinâmica físico-territorial num quadro de déficit habitacional e planejamento deficiente, desencadeando incremento das pressões antrópicas sobre o ambiente natural (Clementino, 2007, SEMPLA, 2006).



Fig. 1 – Localização da Região Metropolitana de Natal-RN (RMN), divisões intermunicipais, principais estradas e mancha urbana desenvolvida até ano de 2000.

Neste artigo, as relações entre a dinâmica urbana e riscos geo-ambientais na região metropolitana de Natal-RN serão abordadas pela análise dos impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos e os processos de erosão e sedimentação em ambientes costeiros.

2 – MEIO FÍSICO E RECURSOS HÍDRICOS

A região metropolitana de Natal apresenta precipitações médias anuais de 1.500 mm na faixa litorânea, variando para 750 mm nas regiões interiores, médias anuais de temperaturas de 26,6°C com variações de amplitude de 2,6°C, umidade relativa do ar de 77% com pequena variação ao longo do ano e ventos com velocidades superiores a 3,5 m/s oriundo do quadrante E-SE.

Em termos geológicos, a RMN apresenta o interior continental formada por rochas gnáissicas, migmatitos e graníticas de idade pré-cambrianas e a região litorânea por terrenos sedimentares de idade cenozóica e quaternária. Na região litorânea, os terrenos de idade cenozóica são representados arenitos fluviais a fluvial-costeiros da Formação Barreiras. Essas rochas apresentam uma superfície tabular com fraco mergulho estrutural para o oceano, comportando falésias antigas situadas próximas à linha de costa e falésias ativas. Os registros geológicos de idade quaternária constituem depósitos sedimentares relacionados com a dinâmica da interação oceano-continente. Destacam-se os depósitos fluviais formados por bancos arenosos, camadas de lama e níveis de turfas; os depósitos lacustres formados camadas areno-argilosas com algumas lentes de diatomito; cordões lineares de arenitos de praia e os depósitos eólicos, um conjunto formado pelas dunas móveis e fixas.

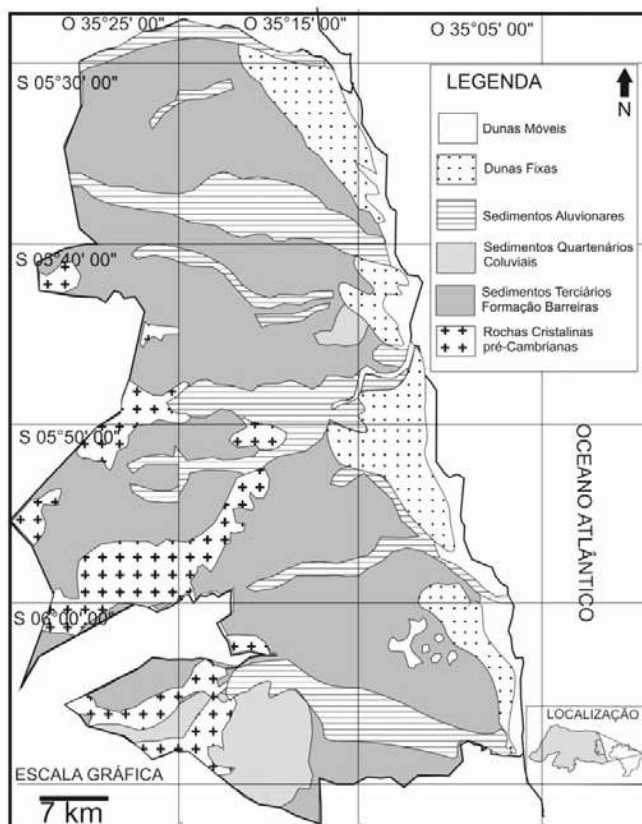


Fig. 2 – Mapa Geológico simplificado da Região Metropolitana de Natal (RMN).

Os recursos hídricos superficiais da RMN são constituídos pelas lagoas de médio porte posicionadas sobre os sedimentos terciários do Grupo Barreiras, onde destacam-se as lagoas de Jiquí, Bomfim e Extremoz, pequenas lagoas interdunares e as bacias dos Rio Potengi, Ceará-Mirim, Pirangi, Trairi e Rio Doce. As lagoas de médio porte, tais como Bonfim, Jiquí e Extremoz são utilizadas para abastecimento dos centros urbanos. A lagoa de Extremoz tem capacidade de exploração de 20 milhões de m³/ano e a lagoa do Jiquí de 12 milhões de m³/ano. O sistema lacustre Bonfim é composto principalmente pelas lagoas do Bonfim Redonda, Boa Água, Ferreira Grande, Carcará e Urubu e tem capacidade para acumular 83 milhões de metros cúbicos de água (Pereira *et al.*, 2000). O sistema lacustre Bonfim suporta um sistema adutor com 315 km de extensão com uma vazão média de 240 litros/segundo, destinado a abastecer uma população de 150.000 habitantes da região semi-árida do Estado do Rio Grande do Norte (Pereira *et al.*, 2003).

Os recursos hídricos subterrâneos da RMN estão confinados no sistema aquífero dunas-barreiras, formados por dois aquíferos, dunas e barreiras que apresentam conectividade através de drenagem descendente vertical (Melo *et al.*, 1990). Em muitas situações, esta conectividade ocorre através de uma camada argilosa de baixa permeabilidade (aquitardo). Apesar de constituir-se como a principal fonte de abastecimento de várias cidades da RMN, o funcionamento hidráulico deste sistema permanece pouco estudado.

O aquífero Dunas é composto pelas areias finas a média de espessura variável derivadas dos campos dunares ou de colúvios e detritos da formação Barreiras. De caráter livre, sua superfície piezométrica tanto aflora formando fontes como atinge a profundidade de 30 m. O aquífero Barreiras é composto por camadas areno-argilosas de granulação média a grossa com espessura média de 35 m. Mas, em algumas situações, o aquífero Barreiras encontra-se capeado por camadas argilosas caracterizada como aquitardo o que lhe atribui o caráter de semi-confinamento. O aquífero apresenta geralmente vazões de exploração elevadas (vazões da ordem de 100 m³/h) mas variáveis em função da espessura dos sedimentos do Grupo Barreiras. O limite inferior do aquífero Barreiras é o topo da sequência carbonática mesozóica (formação Jandaíra) constituída por sedimentos areno-argilosos a argilosos de composição calcifera ou nas áreas mais interiores, os terrenos cristalinos de idade pré-cambriana. Dados obtidos por diversos estudos apontam valores de transmissividades na ordem de $2,8 \times 10^{-3}$ a $9,2 \times 10^{-3}$ m²/s e permeabilidade em torno de $4,1 \times 10^{-4}$ m/s para o aquífero Barreiras, e para o aquífero Dunas, os valores de transmissividade encontram-se na ordem de $2,2 \times 10^{-3}$ a $2,6 \times 10^{-3}$ m²/s e de permeabilidade de $2,0 \times 10^{-4}$ a $2,7 \times 10^{-4}$ m/s (Melo *et al.*, 1990).

3 – SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS

Para os objetivos deste trabalho, duas macro-unidades geoambientais foram diferenciadas na RMN, a borda do interior continental e a região litorânea. A última unidade foi subdividida em zona transicional e planície litorânea. O quadro 1 sintetiza as principais características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e hidrogeológicas das unidades geoambientais da Região Metropolitana de Natal.

A borda do interior continental é composta pela depressão sertaneja — uma extensa área situada na porção oeste da RMN com relevo ondulado esculpido em rochas pré-cambrianas. Neste setor foram formados canais fluviais amplos com vertentes de baixo declive onde se encontra depósitos aluviais e coluviais. A região litorânea é composta pelos tabuleiros costeiros e pela planície litorânea. Os tabuleiros costeiros correspondem a uma zona transicional entre o interior e o litoral que apresenta relevo plano-ondulado dissecado por uma rede fluvial instalada sobre os arenitos de cenozóica da Formação Barreiras.

A planície litorânea é a região continental de relevo suave em contato direto com o oceano, sendo formada pelos campos dunares, praias, planícies de maré e estuários. As praias são predomi-

Quadro 1 – Descrição das principais características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e hidrogeológicas das unidades geoambientais da Região Metropolitana de Natal.

UNIDADES		GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	HIDROLOGIA	HIDROGEOLOGIA	
BORDA DO INTERIOR CONTINENTAL		DEPRESSÃO SERTANEJA	Rochas cristalinas pré-cambrianas	Neossolos litólicos eutróficos e planossolos háplicos e hidromórficos	Planícies fluviais das bacias dos rios Potengi, Trairi, Ceará-Mirim e Jundiá	Aquífero fissural em rochas cristalinas e/ou aluvionar	
REGIÃO LITORÂNEA	ZONA TRANSICIONAL	TABULEIROS COSTEIROS	Arenitos da Formação Barreiras	Argissolo amarelo abruptico plinthico, e latossolo amarelo distrófico	Planícies fluviais, fluvio-estuarinas, complexos de lagoas (Jiquí, Extremoz, Bonfim, outras).	Aquíferos semi-confinados a livres na Formação Barreiras	
	PLANÍCIE LITORÂNEA	CAMPOS DUNARES	Depósitos de areias quartzosas com intercalações de níveis argilosos	Areias quartosas distróficas marinhas	Formação de pequenas lagoas interdunares	Sistema aquífero dunas-barreiras. Zona de recarga.	
		PLANÍCIES DE MARÉ	Depósitos de areias quartzosas	Neossolos quartzarênicos órticos	Fluxo e refluxo de marés	Aquífero livre com escoamento difuso	
		PRAIAS	Estirâncio Pós-praia terraços litorâneos	Depósitos de areias quartzosas	Areias quartzosas distróficas marinhas	Fluxo e refluxo de marés	Aquífero livre com escoamento difuso
		ESTUÁRIOS	Depósitos de areias e argila	Gleissolos sálicos	Fluxo e refluxo de marés	Aquífero livre com escoamento difuso	

nantemente arenosas, com pequenos trechos apresentam falésias ativas formadas pelos arenitos da Formação Barreiras. Os campos dunares estão presentes praticamente ao longo de todo o litoral da RMN. Próximos às praias ocorrem como dunas primárias não vegetadas e avançam para o continente como dunas parabólicas não vegetadas, passando a serem vegetadas posteriormente. Na RMN, as planícies de maré não estão muito bem caracterizadas em função dos perfis suaves de praias. Os estuários são formados por áreas rebaixadas ocupadas por manguezais em desembocaduras fluviais dos rios Maxaranguape, Ceará Mirim, Doce, Potengi e Pirangi. O principal complexo estuarino está instalado na desembocadura dos rios Jundiá – Potengi, perfazendo uma área ampla desde a linha de costa até ao município de Macaíba (cerca de 20 km lineares).

4 – DINÂMICA URBANA

Nas cidades litorâneas do nordeste do Brasil, os setores da construção civil e turístico têm atraído na última década um volume significativo de capital destinado a implementar unidades de hotelaria, resorts integrados com condomínios re-sidenciais, flats, loteamentos, entre outros. Este fenômeno tem sido chamado de “imobiliário turístico” (Assis, 2006). A expansão sinérgica dos setores imobiliários e turísticos tem incrementado novos usos para a planície litorânea. Segundo Ferreira e Silva (2007), o aumento no valor do solo, sua transformação rápida de rural para urbano,

a “competição” pelo monopólio das melhores localizações, paisagens e “espaços de lazer” contribui para uma recente modificação na tradicional articulação entre os elementos constituintes do território metropolitano no litoral do nordeste do Brasil.

Na Região Metropolitana de Natal, as pressões advindas da expansão imobiliária e turística pela ocupação da faixa litorânea apresentam duas características físico-territoriais: a expansão da área urbana no entorno do estuário do Rio Potengi e ocupação de áreas não urbanizadas e não necessariamente contíguas à área urbana e de modo preferencial na planície litorânea.

A expansão da área urbana no entorno do estuário do rio Potengi tem sido uma tendência histórica caracterizada por diversos autores (e.g; Cunha, 2004 e FADE, 2006). A partir do sítio histórico (Fortaleza dos Reis Magos), onde estavam os principais equipamentos militares instalados pelos colonizadores portugueses, a evolução da área urbana apresentou a tendência de ocupar os espaços de menor declividade e de drenagem natural mais eficiente, ou seja, de menor risco às inundações. Posteriormente, ocorreu a integração das praias como espaços urbanos de lazer, e ainda, recentemente, a articulação entre as malhas viárias das duas margens do estuário.

A dinâmica de desenvolvimento imobiliário na RMN encontra-se centrada em grandes eixos da malha viária que margeiam praias e áreas de proteção ambiental. Entre os principais eixos, destaca-se o formado no entorno do Parque das Dunas (Via Costeira, avenidas Prudente de Moraes e Salgado Filho) e seus prolongamentos no sentido sul (Rota do Sol, BR-101).

Por outro lado, a ocupação de áreas não urbanizadas e não necessariamente contíguas à área urbana constitui uma tendência de expansão não tradicional e de evolução recente. Dados obtidos nos órgãos ambientais e no IBGE (2000, 2004) apontam que no município de Nísia Floresta, distante 43 Km de Natal, apresentava 3.200 unidades em licenciamento, construção ou já executadas no período entre 2000 e 2006. Uma característica particular dos empreendimentos imobiliários em Nísia Floresta é que eles concentram-se nas praias de Búzios, Tabatinga, Camurupim, Barreta e Pirangi do Sul (7,5% do seu território).

5 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA ÁREA URBANA

Neste trabalho, a evolução da área urbana na RMN foi analisada pela utilização de técnicas de processamento digital de imagens (PDI). Imagens LANDSAT da RMN obtidas num intervalo de 26 anos (09/06/1975 – 04/08 2001) pelas plataformas LANSAT 1 e LANDSAT 7 ETM+ foram processadas para a obtenção de imagens falsa-cor (bandas 7-5-4 para Landsat 1 e bandas 7-5-3 para LANDSAT 7 ETM+) e classificadas pelo método não supervisionado K-means com 25 classes e 3 iterações, sendo posteriormente transformada para imagens em escala de cinza com 16 bites. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 3.

A análise visual dos produtos obtidos pelas técnicas descritas anteriormente denotou as seguintes feições: (1) A expansão e adensamento da área urbana no entorno do estuário do rio Potengi marcada pelo aumento de tons escuros de cinza entre as duas imagens; (2) a redução de área de vegetação densa situada ao norte da cidade de São Gonçalo do Amarante (porção centro-nordeste das imagens); (3) a preservação dos campos dunares vegetados do Parque da Costeira e de Ponta Negra; (4) ocupação da área situada entre o campo de dunas móveis de Redinha Nova – Genipabu e a faixa de praia; (5) a expansão da área urbana da cidade do Natal na direção N-NE para o entorno da lagoa de Extremoz e do campo de dunas móveis de Genipabu.

Com a análise dos produtos obtidos das imagens LANDSAT 1 e LANDSAT 7 ETM+, observa-se que a área urbana da RMN encontra-se centrada no entorno do estuário do Rio Potengi, perfazendo um grande “arco” urbano entre a foz do rio Potengi e cidades de São Gonçalo do Amarante, Parnamirim e Macaíba. A expansão da área urbana da RMN a evoluiu com a ocupação de campos dunares vegetados e faixas de praias da planície litorâneas e secundariamente dos tabuleiros costeiros.

Outro produto utilizado para a análise visual foi uma imagem CBERS de alta resolução espacial (pixel=2,7 m²) captada pelo sensor HRC (High Resolution Câmera) em banda pancromática (0,5 -0,8 µm) em 20/10/2008. Como se observa na figura 4, várias intervenções antrópicas foram implantadas ao longo dos últimos 50 anos na faixa de praia e no estuário do rio Potengi. Dentre as intervenções, destacam-se a implantações de espigões na Praia de Areia Preta, de guias correntes na desembocadura do rio Potengi, expansão do cais do porto, etc.

6 – RISCOS GEO-AMBIENTAIS

Diante do quadro anteriormente apresentado, observa-se que expansão da área urbana na RMN vem se desenvolvendo com a ocupação de ambientes de elevada sensibilidade ambiental, tais como o estuário do Rio Potengi, os campos de dunas e os terraços litorâneos. Os processos geológicos atuantes nestes ambientes são comandados pela atuação das variáveis oceanográficas (ondas, marés, correntes, flutuações do nível do mar) e climáticas (regime de ventos, precipitações pluviométricas). Interferências das atividades antrópicas geralmente são marcadas pelo aumento da vulnerabilidade do meio natural e pela degradação da paisagem imposta pela expansão das atividades na região metropolitana. A abordagem estabelecida neste trabalho tratará de uma análise preliminar dos riscos geo-ambientais de alta relevância decorrentes da expansão da área urbana.

De modo geral, um dos principais impactos da expansão de áreas urbanas é alteração do ciclo hidrogeológico na sua área de influência. Na RMN, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos de forma não planejada e a falta de investimentos em saneamento ambiental constituíram os principais fatores que levaram a comprometer a qualidade das águas subterrâneas. Desta forma, a expansão da área urbana na RMN provocou um forte impacto na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, particularmente, no sistema aquífero Dunas-Barreiras. O principal vetor de contaminação são os dejetos acumulados em fossas sépticas. Segundo Melo *et al.* (1996), a contaminação do aquífero Dunas/Barreiras correlacionado com uso e ocupação do solo, bem como, a falta de saneamento básico com a disposição local e inadequada de efluentes domésticos.

A contaminação das águas por nitrato (NO⁻³), em teores acima 10 mg/L N-NO⁻³ (ca. 45 mg/L NO⁻³), pode provocar problemas de saúde pública como doenças como metahemoglobinemia (a síndrome do bebê azul) e aumentar o risco de fatores relacionado ao câncer gástrico (Lucas Filho *et al.*, 2007). Pesquisas, ainda não conclusivas, tentam comprovar que concentrações elevadas de metahemoglobina no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato em águas, podem induzir ao aborto espontâneo e má formação do feto (Cabral, 2005).

No município de Natal, os dados do teor de N-NO⁻³ em mg/l coletados em poços de captação de água para abastecimento doméstico e industrial coletados em dezembro de 2006 (figura 5) revelam a presença de várias plumas de contaminação. Destacam-se as plumas de contaminação localizadas no entorno do estuário do Rio Potengi e sua extensão para norte, assim como a localizada no setor do sul do município do Natal.

Outro impacto negativo de alta intensidade provocado pela expansão de áreas urbanas relaciona-se com a alteração dos processos de sedimentação e erosão em sítios urbanos. Particularmente, esses fenômenos são bem registrados em áreas urbanas localizadas em regiões litorâneas pela alteração cíclica da linha de costa e dos perfis de praias. Segundo Muehe (2005), fenômenos erosivos são freqüentes em todo o litoral, concentrando-se preferencialmente nas proximidades de desembocaduras fluviais e em segmentos localizados de áreas urbanizadas, muitas vezes a jusante de estruturas artificiais que alteram o balanço sedimentar, como, por exemplo, em Fortaleza, Recife e litoral Norte do Rio de Janeiro.

A ocupação da planície litorânea causa uma interferência direta sobre a disponibilidade de material sedimentar, como também, sobre os fatores atuantes no transporte de sedimentos ao longo da

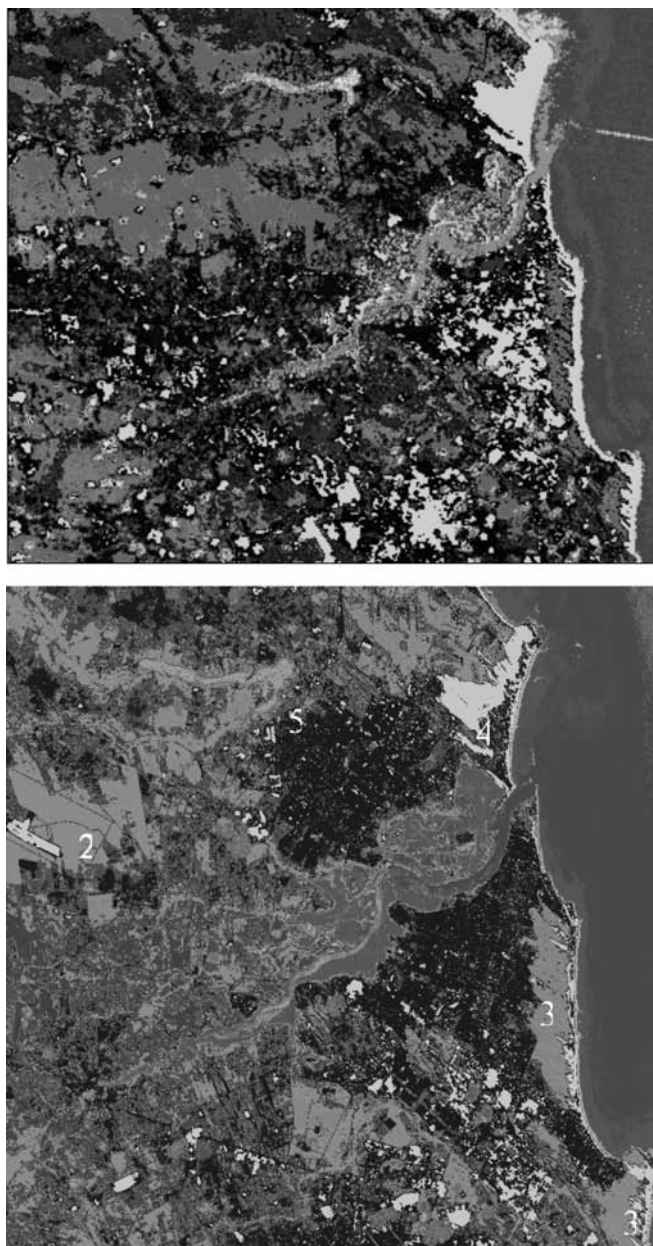


Fig. 3 – (A) Imagem em escala de cinza obtida de imagem RGB falsa-cor do sensor LANDSAT 1, resolução espacial de 80 metros, bandas 7, 5 e 4, obtida em 09/06/1975, a qual foi processada pelo método de classificação não supervisionada K-means usando 25 classes com 3 iterações, posteriormente, transformada para imagem em escala de cinzas com 16 bites; (B) Imagem em escala de cinza obtida de imagem RGB falsa-cor do sensor LANDSAT ETM+7, resolução espacial de 30 metros, bandas 7, 5 e 3, obtida em 04/08/2001, processada, classificada e transformada pelos mesmos métodos da imagem anterior. Nesta figura, os números (2) refere-se à área situada a norte da cidade de São Gonçalo do Amarante, de recente ocupação e destinada a implantação do novo aeroporto metropolitano, (3) às áreas de dunas móveis preservadas, (4) planície litorânea e campo de dunas móveis ocupados ou parcialmente ocupados e (5) ocupação do entorno da lagoa de Extremoz e das dunas móveis da praia de Genipabu.

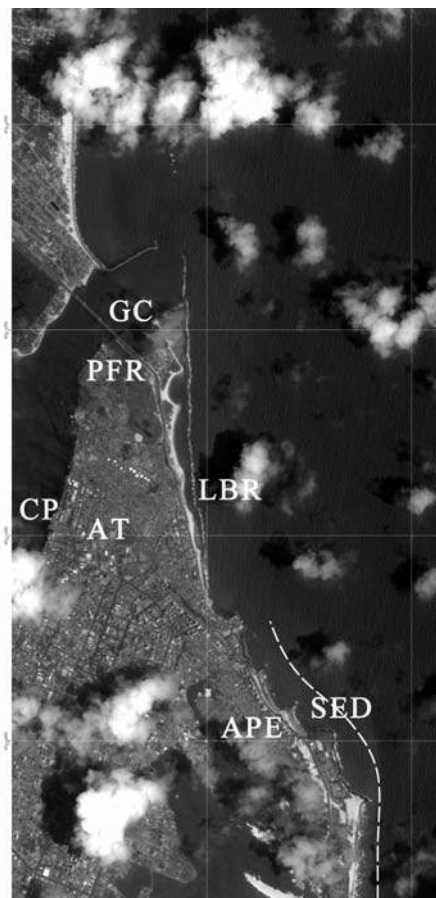


Fig. 4 – Imagem CBERS de alta resolução espacial (pixel=2,7 m²) captada pelo sensor HRC (High Resolution Câmera) em banda pancromática (0,5 - 0,8 μ m) em 20/10/2008, apresentando parte da cidade do Natal-RN, em destaque sua faixa litorânea, onde observa-se as intervenções antópicas na praia de Areia Preta (APE-espigões) e na desembocadura do Rio Potengi (GC-guias correntes). Outros aspectos relevantes: a pluma de sedimento transportado ao longo da costa (SED), a linha de beach rocks (LBR) de direção NNO, a ponte Forte-Redinha (PFR), os cais do porto (CP) e área de tancagem (AT).

linha de costa. Outro tipo de interferência está relacionado com implantação de equipamentos de infra-estrutura portuária (portos, piers, terminais, etc). Não são raros os exemplos de implantação de obras de engenharia para adequar a faixa de praia para implantação de equipamentos de para diversos fins que variam de apoio logístico às atividades de lazer e proteção.

Apesar de ocorrer intenso fluxo de sedimentos ao longo da costa, como observado na figura 4 pelos tons cinza mais claros que margeiam a faixa de praia, os processos erosivos têm-se acelerado com a ocupação urbana pela retenção do suprimento de parte dos sedimentos oriundo das dunas não vegetadas. Áreas de erosão costeira, como a da praia da de Areia Preta, foram submetidas aos processos de recuperação com a implantação de espigões e aterramento. Segundo Cunha (2004), ocorreu um récuo na linha de costa na praia de Areia Preta de 9 metros entre 1974 e 1999. A sequência de fotografias mostrada na figura 6 apresenta a progressiva variação paisagística da praia de Areia Preta nas décadas 40 e 50 do século XX e mais recentemente. Durante a ocupação da faixa de praia foram desenvolvidos os processos de urbanização da ante-praia e vegetação do campo de dunas móveis.

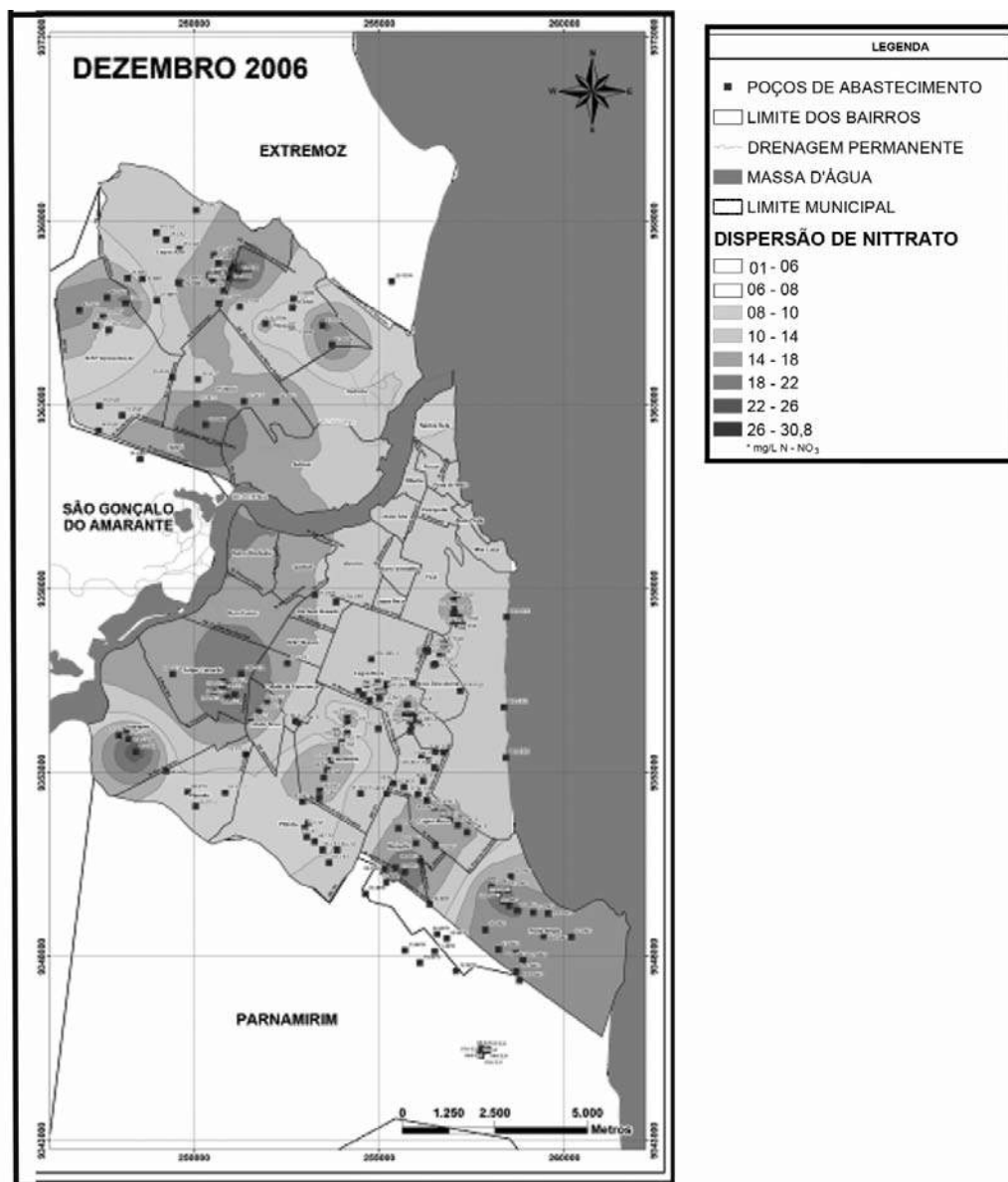


Fig. 5 – Mapa de isoteor de N-NO³ em mg/l do município de Natal-RN, elaborado a partir de amostras de água coletadas em poços, indicando a presença de pluma de contaminação em nitrato em várias áreas (em tons cinza mais escuros).

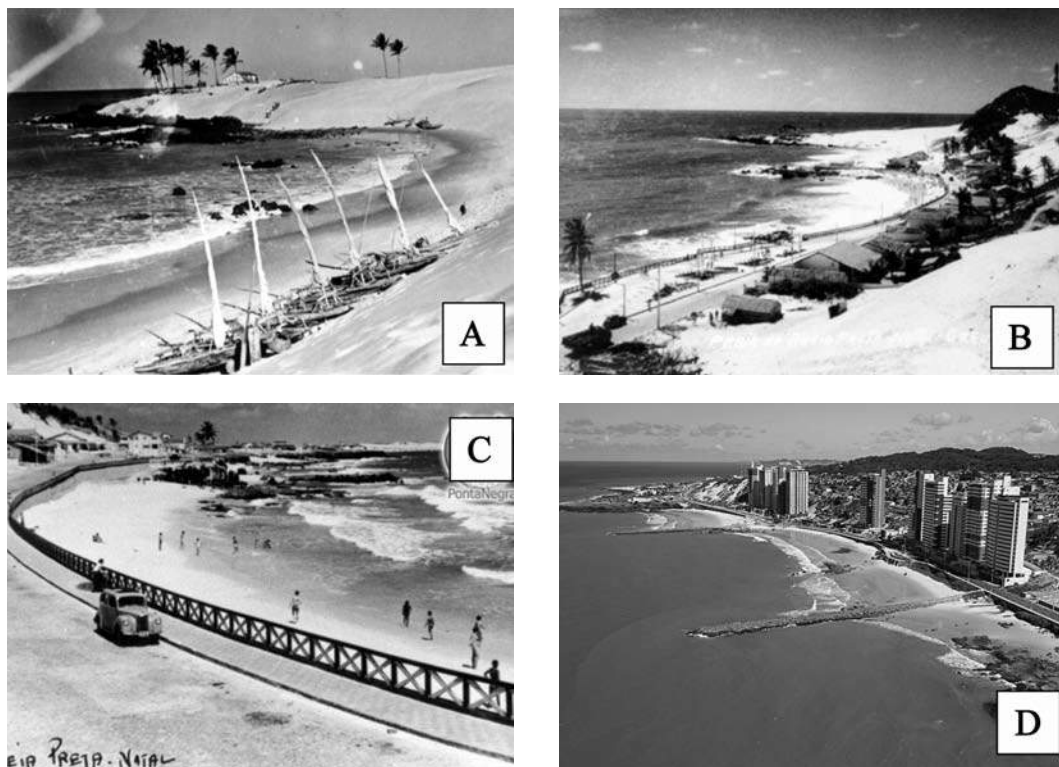


Fig. 6 – (A) Praia de Areia Preta nos anos 30 do Século XX. Observa-se duna móvel contornando a pequena enseada, uso com ancoradouro para pequenas embarcações de pesca (jangadas). (B e C) Praia de Areia Preta nos anos 60 do século XX. Observa-se o desenvolvimento do processo de urbanização com ocupação da ante-praia e do campo de dunas móveis. (D) Praia de Areia Preta atual (2007). Observa-se a implantação de espigões perpendiculares à linha de costa, aterramento e o campo de duna móveis completamente ocupado e vegetado. Fotografias obtidas no sítio da Prefeitura Municipal de Natal (<http://www.natal.gov.br>).

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma conclusiva, o presente trabalho estabelece uma análise preliminar das inter-relações entre a dinâmica físico-territorial e os riscos geo-ambientais tendo como suporte produtos de sensores remotos obtidos das plataformas LANDSAT e CBERS. No caso abordado, a região metropolitana de Natal, os principais riscos geo-ambientais decorrentes da inter-relação entre a dinâmica da expansão de sua área urbana e dinâmica natural do meio físico inserem-se em duas linhas fundamentais: a alteração do ciclo hidrogeológico por efluentes advindos do sítio urbano e a alteração da dinâmica sedimentar em ambientes costeiros e estuarinos.

Na primeira categoria, a alteração do ciclo hidrogeológico, identifica-se a depreciação da qualidade dos recursos hídricos, principalmente os subterrâneos, em função da não implantação de um sistema eficiente de drenagem e tratamento de efluentes domésticos e industriais. Impacto negativo decorrente desta alteração é a ocorrência de plumas de contaminação em nitrato mapeadas em várias áreas urbanas do município de Natal. Na segunda categoria, a alteração da dinâmica sedimentar, ressalta-se a interferência nos processos de erosão na linha de costa e complexo estuarino do rio Potengi por intervenções de natureza antrópica decorrente da implantação de equipamentos para diversos fins (e.g., lazer, proteção, agro-industrial, logística, etc.).

8 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os apoios disponibilizados pela a Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Ambiental de Natal (ARSBAN) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, L. F. (2006) – “Residências secundárias: expansão e novos usos do litoral cearense”. In: Silva, J. B. da; Dantas, E. W. C.; Zanella, M. E. Z. e Meirelles, A. J. de A. (orgs). *Litoral e Sertão: natureza e sociedade do nordeste brasileiro*. Fortaleza, Expressão Gráfica.
- Cabral, N. M. T. (2005) – Comportamento dos indicadores de contaminação por efluentes domésticos nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/congresso/comp_ind.pdf. Acesso em set.
- Clementino, M. L. M. ; Pessoa, Z. S. (2007) – Segmentação numa Metrópole em Formação. In: SBS, 2007, Recife. 13º Encontro de Ciências Sociais do Norte Nordeste. Recife, v. 13
- Cunha, E. M. S. (2004) – Evolución actual del litoral de Natal – RN (Brasil) y sus aplicaciones a la gestión integrada. Tesis doctoral, não publicada. Universitat de Barcelona, Espanha.
- FADE (2006) – Diagnóstico para o plano estratégico Natal - uma metrópole em formação. Relatório Temático da Dimensão Físico-territorial. Volume 3. 251 pp.. Recife, novembro de 2006.
- Ferreira, A. L. de A. e Silva, A. F. C. (2007) – Novas dinâmicas imobiliárias e redefinição da estrutura territorial - o caso da área metropolitana de Natal/RN. In: Encontro Nacional da ANPUR . Anais. Belém, ANPUR.
- Lucas Filho, M.; Lima, U. M.; Macedo, H.; Freitas, F. R. S.; Tavares, F. C. S. (2007) – Evolução das concentrações de nitrato no sistema de abastecimento de água do município do Natal. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental. Belo Horizonte, MG. Publicação em CD-ROM.
- IBGE (2000) – Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE (2004) – Pesquisa Anual da Indústria da Construção Civil – 2004. Rio de Janeiro: IBGE.
- Melo, J. G.; Figueredo, E. M. (1990) – Comportamento Hidráulico e Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Dunas/ Barreiras a Poluição na área de Natal/Rn. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 13, p. 112-124.
- Melo, J. G.; Rebouças, A. C. (1996) – Contaminação de Águas Subterrâneas por nitrato na zona sul de Natal, RN. Revista Água Subterrânea, São Paulo, v. 1, p. 71-83.
- Muehe, D. (2005) – Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. Revista Mercator, vol. 4, nº 7, pp. 97-110. Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE.
- Pereira R., Silva Jr., G. C.; Guimarães Jr., A. A. (2000) – Considerações a respeito da hidrologia e geologia estrutural da região da Lagoa do Bonfim – RN. Rev. de Geologia, Vol. 15: 131-139. Universidade Federal do Ceará.

- Pereira, R.; Guimarães Jr.; J. A.; Silva Jr., G. (2003) – Estado da arte da bacia hidrogeológica do sistema lacustre Bonfim-rn, Nordeste do Brasil. *Rev. Águas Subterrâneas*, 41-47 pp., nº 17.
- Pessoa, Z. S.; Clementino, M. L. M. (2005) – Desigualdades Sociais, Território e Meio Ambiente na Região Metropolitana de Natal. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Sociologia*. Sociedade Brasileira de Sociologia, Belo Horizonte. Brasil.
- SEMPA (2006) – Governo do Estado do Rio Grande do Norte. Diagnóstico para o Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável para a Região Metropolitana de Natal. Recife: FADE/UFPE; FUNPEC/UFRN; SEMPLA.