



## Riscos Geoambientais e a expansão da área urbana na Região Metropolitana de Natal, Nordeste do Brasil – uma abordagem preliminar

Guttenberg Martins <sup>(1)</sup> & Karina Patrícia Vieira da Cunha <sup>(1)</sup>

*Recebido em 04 de fevereiro de 2011 / Aceito em 19 de setembro de 2011*

### Resumo

Utilizando imagens dos satélites CBERS e LANDSAT, o presente trabalho apresenta uma análise sistemática dos riscos geoambientais na Região Metropolitana de Natal, Nordeste do Brasil. Essa abordagem é baseada na categorização de unidades geoambientais, elaborada a partir da compilação de dados climáticos, geológicos, hidrológicos, pedológicos, hidroquímicos, hidrogeológicos e geomorfológicos. Como também foi desenvolvida a análise da variação temporal de imagens apoiada na técnica de classificação não supervisionada com o objetivo de inferir tendências na expansão da área urbana e os riscos geoambientais relacionados. Como resultados, foram apresentadas duas categorias principais de riscos geoambientais: a alteração do ciclo hidrogeológico e as alterações nos processos sedimentares na zona costeira e estuarina. Evidências da primeira categoria são as ocorrências de plumas de contaminação em nitrato em várias áreas urbanas do município de Natal. Entre as evidências da segunda categoria destacam-se a redução da área estuarina, a devastação de áreas de manguezal para implantação de equipamentos para diversos fins, além da ocupação de campos de dunas.

Palavras-chave: gestão territorial, evolução da área urbana, vulnerabilidade ambiental.

### Abstract

*Based on techniques for satellite's images processing is presented here a model for systematization of environmental risks in the Natal metropolitan area. Other support of model is recognition of a set of environmental units defined with the identification of climatic, geologic, geomorphologic, hydrochemical, pedologic, hydrogeologic and hydrologic characteristics. Also were analyzed the temporal variation during 25 years of LANDSAT and CBERS products. A routine of techniques and procedures was established to model the dependence of physical conditions with the evolution of urban area mainly unsupervised classification using algorithms pre-established (e.g., ISODATA, K-means). The results were the recognition of two main categories of environmental risks related with urban area evolution. The first category concentrated the changes of hydrogeologic cycle related to effluents discharge from the urban area. The changes of sedimentary processes in the coastal and estuaries areas comprise the second category. Among the evidences were identified plumes of nitrate contamination and the destruction of mangrove areas for deployment of equipment for various purposes.*

*Key-words: territorial management, evolution of urban area, environmental vulnerability.*

(1). Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN. Email: guttenbergmartins@yahoo.com.br.

## 1. Introdução

A Região Metropolitana de Natal (RMN) compreende uma área de 2.511,80 Km<sup>2</sup> aonde habita uma população de ca. 1,35 milhões de habitantes (IBGE, 2010). Os principais vetores propulsores da expansão urbana na RMN, além da implantação de equipamentos de infraestrutura, são os empreendimentos dos setores imobiliários e turísticos na região litorânea. Desta forma, o crescimento da área urbana vem integrando áreas situadas na planície litorânea (e.g., campos de dunas e praias), áreas próximas aos maiores mananciais hídricos (lagoas do Jiquí, Extremoz, Bonfim) e áreas estuarinas. Uma característica marcante da expansão da área urbana na RMN é uma associação de elevado déficit habitacional com planejamento deficiente, desencadeando um crescente aumento das pressões antrópicas sobre o ambiente natural (Clementino, 2007, SEMPLA, 2006).

A expansão sinérgica dos setores imobiliários e turísticos na Região Metropolitana de Natal (RMN) tem incrementado novos usos para a planície litorânea, principalmente, conformando as praias como espaços urbanos de lazer. Esse fenômeno, chamado de “imobiliário turístico” tem aumentado o valor do solo em regiões litorâneas pela sobrevalorização do “capital paisagístico” como espaço de lazer, conseqüentemente, provocando sua transformação rápida de rural para urbano (cf. Assis, 2006). De forma que induziu uma modificação recente na tradicional articulação entre os elementos do território litorâneo no nordeste do Brasil (Ferreira & Silva, 2007). Por outro lado, a expansão da área urbana na RMN no entorno do estuário do rio Potengi tem sido uma tendência histórica caracterizada por diversos autores (e.g; Cunha, 2004 e FADE, 2006) sendo incrementada pela recente articulação entre as malhas viárias marginais ao estuário.

Esse artigo constitui uma abordagem preliminar sobre a categorização das unidades geoambientais e a sistematização dos riscos geoambientais na Região Metropolitana de Natal (RMN), a partir da compilação de dados climáticos, geológicos, hidrológicos, pedológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos e geomorfológico. Nesta abordagem foi utilizada uma análise temporal de imagens CBERS e LANDSAT, através da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens, numa tentativa de apontar evidências das inter-relações entre riscos geoambientais e a expansão da área urbana na RMN.

## 2. Característica do Meio Físico

### 2.1 Clima, temperatura, regime de ventos, pluviometria.

As precipitações pluviométricas na cidade do Natal, em geral, são superiores a 1500 mm. As temperaturas mensais são, em média, de 26,8° C, com amplitude térmica de 2,9° C. O período de maior insolação corresponde aos últimos meses do ano (288 horas em outubro) e os meses menos ensolarados ocorrem de fevereiro a julho, com um valor mínimo de 189 horas, apresentando uma variação média anual entre 2591 e 3189 horas. A direção predominante dos ventos é do quadrante Sudeste para Noroeste, oriundos do Oceano Atlântico. As velocidades variam de 3,60 a 5,11 km.h<sup>-1</sup>, com média de 4,0 km.h<sup>-1</sup>.

A média mensal de umidade relativa do ar varia de 72,7% a 82,0%. A taxa de evaporação média anual é da ordem de 2133 mm. A evapotranspiração média/anual foi avaliada em 1549 mm. Portanto, segundo dados da LAVAT (2010) citados anteriormente, o clima é quente e úmido, com estação seca no verão e chuvas no outono-inverno, ou seja, nos meses de setembro a janeiro e fevereiro a agosto, respectivamente.

## 2.2 Geologia

O arcabouço litoestratigráfico na Região Metropolitana de Natal (RMN) é representado pelas rochas gnáissicas, graníticas e migmatíticas de idades pré-cambrianas que formam o interior continental e as rochas sedimentares de idades cenozóicas e quaternárias aflorantes na região litorânea. Na região litorânea, os terrenos de idades miocênicas a pleistocênica são representados por arenitos fluviais a fluvial-costeiros das formações Barreiras e Potengi. Os registros geológicos de idade holocênicos 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 por camadas arenoargilosas com algumas lentes de diatomoito; cordões lineares de arenitos de praia e os depósitos eólicos, um conjunto formado pelas dunas móveis e fixas.

## 2.3 Geomorfologia

O arcabouço geomorfológico na Região Metropolitana de Natal (RMN) é caracterizado na sua borda interior pela formação da chamada depressão sertaneja que reflete os processos de pediplanação em época pós-cenomaniana que segundo Peuvilst & Sales (2004) se desenvolveu pelo amplo e continuado soerguimento flexural da margem equatorial. A transição entre a borda interior e a região litorânea é caracterizada pela constante presença dos depósitos sedimentares da Formação Barreiras, que formam uma superfície mais ou menos plana (tabuleiros costeiros), dissecada pela drenagem atual e suavemente inclinada para o oceano (Barreto et al., 2004).

Na planície litorânea ocorre uma diferenciação geomórfica relacionada diretamente com a interação oceano continente e com as variações seculares do nível médio do mar. As

principais feições geomórficas, em termos de área, na RMN são as planícies estuarinas do rio Potengi-Jundiaí, Ceará-Mirim e Pirangi; os campos de dunas vegetados (eg., Pirangi-Potengi,) e parcialmente vegetados (eg., Parque das Dunas, Barreira do Inferno, Pitangui, Tabatinga, Redinha-Genipabu, Pitangui-Jacumã), e as praias.

No estuário Potengi-Jundiaí, dominado pelas ações derivadas das variações das marés, é encontrado no seu interior, a foz do rio Potengi em forma de delta intra-estuarino, além de extensas áreas de planície de maré, recobertas por manguezais e canais de marés (Gamboa Manibú). No estuário do rio Ceará-Mirim, onde a influência da maré não é tão intensa, são encontradas planícies de marés internas revestidas por manguezais e canais de marés; e na área com pouca influência das marés, encontra-se desenvolvida a planície fluvial bordejada a leste por campos de dunas e a oeste pelos tabuleiros costeiros (Castellani et al., 2007).

Os campos de dunas são as feições geomórficas mais características da planície litorânea da Região Metropolitana de Natal (RMN). As dunas, de modo geral, iniciam na zona de praia, como dunas primárias não vegetadas e avançam para o continente. Segundo Amaral et al. (2005), as dunas primárias evoluem primeiro estágio às dunas parabólicas não vegetadas e em seguida, às dunas parabólicas vegetada. Mas quando atingem dimensões maiores, podem apresentar múltiplas cristas e faces escarpadas, com as encostas externas de seus braços parcialmente ou totalmente vegetadas.

Com base num conjunto de idades obtidas pelo método de termoluminescência, Barreto et al. (2004) admitiram que pelo menos seis fases importantes de atividade eólica, seguidas de fixação, tenham ocorrido na área entre 390.000 até o presente, e que os campos de dunas tenham evoluído durante os períodos glaciais e interglaciais, tendo como área fonte imediata, respectivamente, as areias

de praia e os sedimentos costeiros e aluviais expostos pela regressão.

As faixas de praias na Região Metropolitanas de Natal (**RMN**) apresentam uma variação *morfológica condicionada à dinâmica sedimentar, na qual os principais fatores são a disponibilidade da carga sedimentar, a eficiência dos agentes de transporte e a presença de sítios naturais de retenção da carga transportada*. A morfologia da faixa litorânea na **RMN** é delineada por uma sucessão de pequenas baías abrigadas por promontórios, onde falésias foram esculpidas nos sedimentos da Formação Barreiras.

A presença de cordões lineares de arenitos de praia (beach rocks), ao longo do litoral, induziu a formação de faixas de praias protegidas. Nessas se identificam linhas de berma em cúspide e zonas estreitas de estirâncio. Por outro lado, ocorrem faixas de praias sem a presença de cordões lineares de arenitos de praias que apresentam zonas largas de estirâncios e dunas ativas na região de pós-praia (eg. Ponta Negra, Genipabu). Uma terceira categoria corresponde às faixas de praias com características de aporte sedimentar deficitário, onde zonas estreitas de estirâncio são delimitadas por linhas retas de berma.

#### 2.4 Recursos Hídricos

Os recursos hídricos superficiais da **RMN** são constituídos pelas lagoas de médio porte (Jiqui, Bomfim e Extremoz), pequenas lagoas interdunares e as bacias dos rios Potengi, Ceará-Mirim, Pirangi, Trairí e Doce. A lagoa de Extremoz tem capacidade de exploração de 20 milhões de m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup> e a lagoa do Jiquí de 12 milhões de m<sup>3</sup>/ano. O sistema lacustre Bomfim tem capacidade para acumular 83 milhões de metros cúbicos de água (Pereira et al., 2000). 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).

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. Porém, em algumas situações, o aquífero Barreiras encontra-se capeado por camadas argilosas caracterizada como aquitardo, sendo restritamente de caráter semiconfinado. O aquífero Barreiras apresenta geralmente vazões de exploração elevadas (vazões da ordem de 100 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>), entretanto variáveis em função da espessura dos sedimentos do Grupo Barreiras. O limite inferior do aquífero Barreiras é o topo da seqüência carbonática mesozóica (Formação Jandaíra) constituída por sedimentos areno-argilosos a argilosos de composição calcífera ou nas áreas mais interiores, os terrenos cristalinos de idade pré-cambriana.

#### 2.5 Solos

Com relação à pedologia, destaca-se a predominância de quatro principais classes de solos na da **RMN** (IDEMA, 2008): Neossolo (Quartzarênico e Litólico), Planossolo Háptico, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolo Amarelo. Os Neossolos Quartzarênicos (antigamente denominados de Areias Quartzosas) ocupam quase todo o litoral e a margem dos principais rios. São solos não hidromórficos, arenosos, ácidos e excessivamente drenados, e profundos, e de fertilidade natural muito baixa. Os Neossolos Litólicos são solos rasos, alcalinos e de fertilidade natural alta. O Latossolo Vermelho Amarelo estende-se por quase todo o litoral em associação com o Neossolo Quartzarênico e caracteriza-se por apresentar profundidade acima de um metro, serem bem drenados, porosos, friáveis, sódio trocável, que

variam de médio a alto, raso a pouco profundos, com limitação de moderada a forte para uso agrícola. Os Argissolos caracterizam-se por serem solos moderadamente drenados, medianamente profundos a profundos, com baixos teores de matéria orgânica, possuindo grande potencial agropecuário. Além dessas classes de solos são encontradas na região estuarina os solos indiscriminados de mangue que apresentam alta salinidade e grande quantidade de matéria orgânica.

## 2.6 Subdivisão Geoambiental da Região Metropolitana de Natal

Com a análise de dados cartográficos diversos e de uma ampla síntese sobre descrições geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas, hidroquímica e hidrogeológicas, é proposta aqui a subdivisão da região metropolitana em duas mega-unidades geoambientais: a borda do interior continental e o litoral (Tab. 1).

(1) 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 inúmeros depósitos aluviais e coluviais.

(2) A região litorânea é composta pelos tabuleiros costeiros e pela planície litorânea. Os tabuleiros costeiros correspondem a uma zona de transição entre a borda 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 de dunas, praias, planícies de maré e estuários.

## 3. Análise temporal de Imagens Landsat e CBERS

A análise da expansão da área urbana na Região Metropolitana de Natal foi analisada com o

suporte de imagens dos satélites LANDSAT e CBERS. As imagens LANDSAT e CBERS foram coletadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo seu catálogo on line (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). O satélite LANDSAT 1 foi lançado em 23/07/1972, estando inativo desde 06/01/1978, tinha uma órbita polar e heliossíncrona a 917 km da altitude, portanto os sistema sensores Return Beam Vidicon (RBV) e Multispectral Scanner System (MSS). O satélite LANDSAT 7 foi lançado em 15/4/1999 e apresenta uma órbita polar heliossíncrona a 705 km e comportava sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). O satélite China-Brasil Earth Resource Satellite 2B foi lançado em 19/09/2007, estando inativo desde 15/01/2009, possuía órbita heliossíncrona a uma altitude de 778 km, comportando os sistemas sensores CCD, HRC e WFI.

As imagens do satélite LANDSAT 1 utilizada neste trabalho foram captadas às 08:38 (horário de Brasília) do dia 09/06/1975 pelo sistema sensor scanner multiespectral (MSS), correspondendo ao ponto 64 da órbita 230. As imagens LANDSAT 7 foram captadas às 09:17 (horário de Brasília) do dia 04/08/2001, pelo sistema sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).

As resoluções espaciais destas são 80 e 30 metros, respectivamente. A análise temporal das imagens citadas compreende um intervalo de tempo de 26 anos, considerado bastante favorável para detectar a expansão da área urbana. Na etapa de análise visual qualitativa das imagens LANDSAT 1 foram obtidos imagens de composições falsa-cor RGB formadas pelas bandas 7, 5 e 4; as quais correspondem às resoluções espectrais de 0.8 - 1.1  $\mu\text{m}$  (infravermelho próximo), 0.6 - 0.7  $\mu\text{m}$  (vermelho) e 0.5 - 0.6  $\mu\text{m}$  (verde), respectivamente. O mesmo procedimento foi aplicado às imagens LANDSAT 7, obtendo-se uma imagem falsa-cor RGB formada pelas bandas 7, 5 e 3, as quais correspondem às resoluções espectrais de 2.09 -

2.35  $\mu\text{m}$  (infravermelho médio), 1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$  (infravermelho médio) e 0.63 - 069  $\mu\text{m}$  (vermelho), respectivamente.

Numa segunda etapa, foram utilizadas de

técnicas de processamento digital de imagens (PDI) mais robustas com o objetivo de superar os limites da subjetividade na interpretação visual das imagens LANDSAT 1 e 7 pela classificação automática baseada na análise estatística.

*Tab. 1– Descrição das principais características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrologicas, 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	Planícies fluviais das bacias dos rios Potengi, Trairi, Ceará-Mirim e Jundiá.	Aqüífero fissural em rochas cristalinas e/ou aluvionar.	
L I T O R A L	ZONA TRANSICIONAL	TABULEIROS COSTEIROS	Arenitos da Formação Barreiras	Argissolos amarelo e latossolos vermelho amarelo	Planícies fluviais, fluvio-estuarinas, complexos de lagoas (Jiquí, Extremoz, Bonfim, outras).	Aqüíferos semi-confinados a livres na Formação Barreiras.	
	P l i a n c i e	CAMPOS DUNAS	DE	Depósitos de areias quartzosas com intercalações de níveis argilosos.	Neossolos Quartzarênicos distrófico marinho	Formação de pequenas lagoas interdunares.	Sistema aquífero dunas – barreiras. Zona de recarga.
			DE	Depósitos de areias quartzosas.	Neossolos Quartzarênicos órticos	Fluxo e refluxo de marés.	Aquífero livre com escoamento difuso
	L i t o r â n e a	Pr a i a s	Estirância Pós-praia Terraços litorâneos	DE	Depósitos de areias quartzosas.	Neossolos Quartzarênicos distrófico marinho	Fluxo e refluxo de marés.
ESTUÁRIOS				Depósitos de areias e argila.	Solo indiscriminado de mangue	Fluxo e refluxo de marés.	Aquífero livre com escoamento difuso

O método escolhido foi a classificação não supervisionada que é a classificação automática de pixel em diferentes grupos, cada um dos quais deve conter os pixels semelhantes segundo alguma função de distância [estatística](#). Podemos dizer que, no caso das classificações não supervisionadas, quanto maior a heterogeneidade das amostras, maior a certeza de que todas as classes possíveis estarão representadas (Novo, 1992). O software utilizado para obtenção da classificações automáticas das imagens LANDSAT foi o ENVI 4.6 desenvolvido pela ITT Visual Information Solutions.

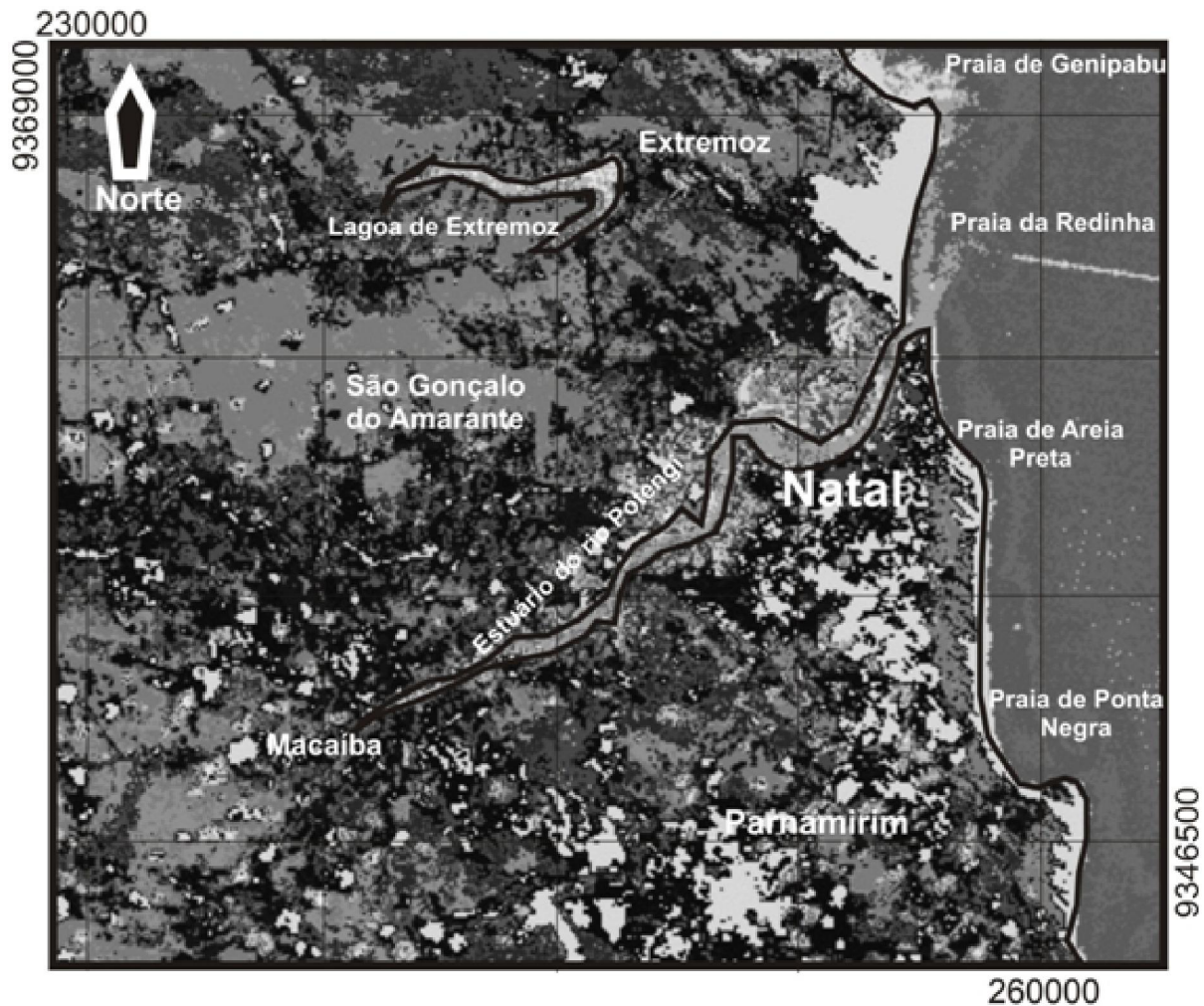
*Revista de Geologia, Vol. 24 (1), 2011*

Entre os métodos classificadores automáticos disponíveis no software ENVI foi escolhido o método K-Means, devido esse calcular inicialmente classes distribuindo-as numa classe uniformemente no espaço e posteriormente aglutinar classe por classe em um processo iterativo usando a técnica de distância mínima. Por esse método, uma classificação eficiente será a que melhor agrupa a nuvem de pixels. O processo de classificação é controlado pelo número de iterações definido pelo usuário. Na classificação elaborada foram utilizadas 25 classes e 3 iterações.

A etapa pós-classificação envolveu a transformação das imagens obtidas pela classificação automática em imagens em escala de tons de cinza com 16 bits. Numa última etapa, foi elaborada uma análise comparativa entre as imagens classificadas.

Os resultados obtidos pela análise temporal

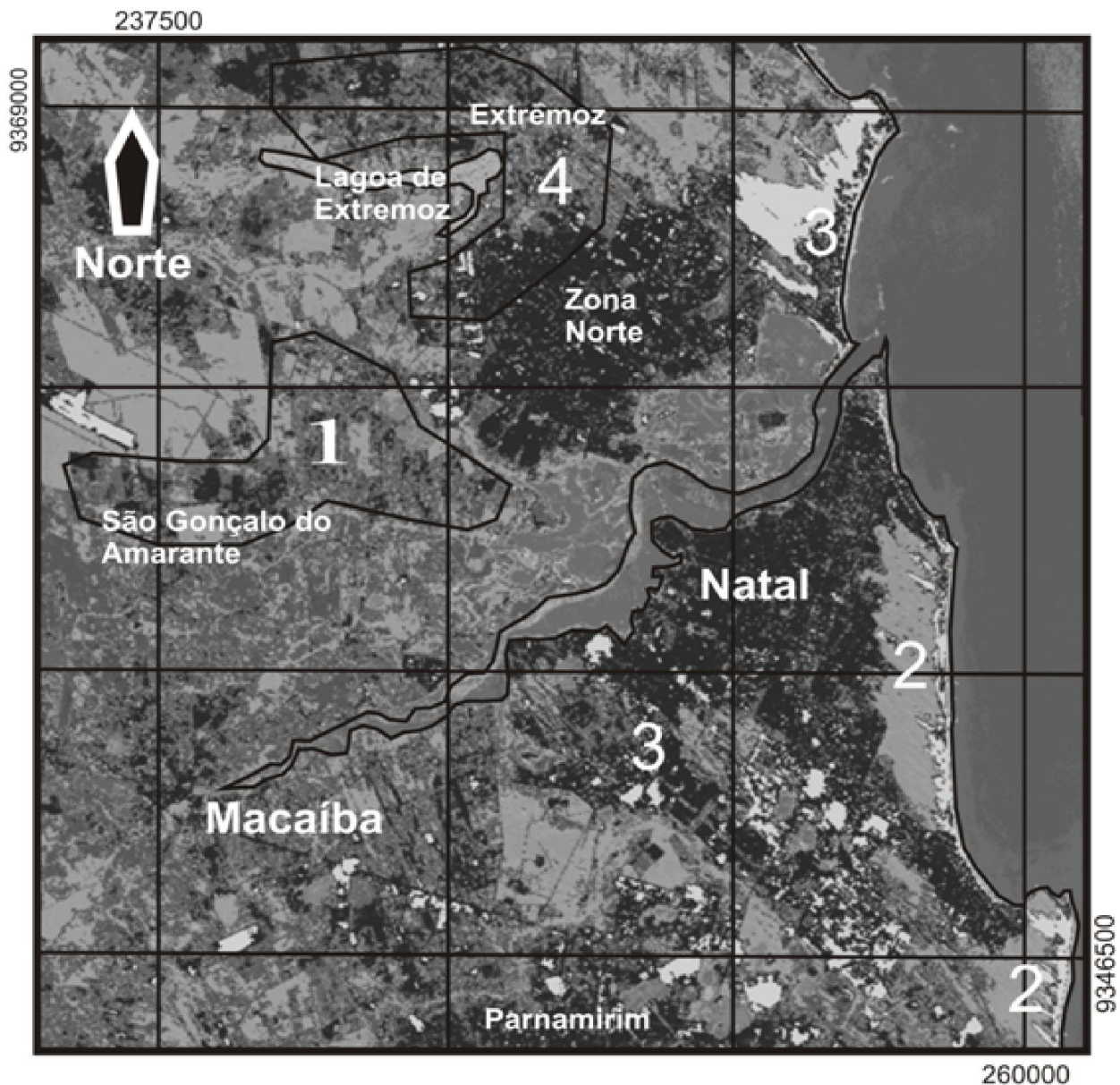
da expansão da área urbana estão apresentados na Fig. 1 para as imagens LANDSAT 1 e na Fig. 2 para as imagens LANDSAT 7. A aplicação da metodologia de classificação automática das imagens LANDSAT permitiu caracterizar as seguintes feições:



*Fig. 1 – Imagem em escala de tons de cinza derivada de imagem RGB falsa-cor do sensor LANDSAT 1, resolução espacial de 80 metros, bandas 7, 5 e 4, obtida em 09/06/1975, após processamento pelo método de classificação não supervisionada usando o algoritmo K-means e posteriormente, transformada para imagem em escala de cinzas com 16 bits. (Coordenadas UTM, datum SAD69).*

(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);



*Fig. 2 – Imagem em escala de cinza derivada 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 pelo método de classificação não supervisionada usando o algoritmo K-means e posteriormente, transformada para imagem em escala de cinzas com 16 bites.. Nesta figura, o número (1) refere-se à área situada a norte da cidade de São Gonçalo do Amarante, de recente ocupação e destinada à implantação do novo aeroporto metropolitano, (2) às áreas dos campos de dunas preservados ou parcialmente preservados, (3) planície litorânea e campos de dunas móveis ocupados ou parcialmente ocupados (eg. campo de dunas Redinha – Genipabu) e (4) ocupação do entorno da lagoa de Extremoz (Coordenadas UTM, datum SAD69).*

(3) a preservação dos campos de dunas vegetados do Parque da Costeira e de Ponta Negra;

(4) ocupação da área situada entre o campo de dunas móveis de Redinha – 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 as evidências obtidas através do processamento digital das imagens LANDSAT apontam o adensamento urbano no entorno do estuário do rio Potengi, a continuidade da análise da expansão da área urbana da **RMN** foi focada na avaliação da área estuarina. Para tanto foram utilizadas imagens do satélite CBERS, captada às 09:50 (horário de Brasília) do dia 30/06/2009 pelo sistema sensor CCD. A câmera CCD é um sensor óptico capaz de adquirir imagens da Terra com resolução espacial de 20 metros, e além de adquirir dados no nadir, pode adquirir também em visadas laterais de aproximadamente 32°, o que permite a obtenção de pares estereoscópicos. A resolução temporal oferecida pelo sensor é de 26 dias.

Numa etapa de análise visual qualitativa das imagens CBERS 2B foram obtidos imagens de composições falsa-cor RGB formadas pelas bandas 4, 3 e 2; as quais correspondem às resoluções espectrais de 0,63 - 0,69µm (vermelho), 0,52 - 0,59 µm (verde) e 0,51 - 0,73 µm (azul), respectivamente. E a partir dessas imagens de composições falsa-cor, foi selecionada a área estuarina do rio Potengi. Posteriormente, as imagens de composições falsa-cor da área selecionada foram submetidas ao processo de classificação automática com o uso do software ENVI 4.6. A metodologia escolhida foi a classificação não supervisionada usando o algoritmo ISODATA, para 25 classes e 5 iterações. O método de classificação ISODATA é descrito como um meio de interpretação de imagens no qual o algoritmo identifica padrões típicos nos níveis de cinza num conjunto de pixels. Esses “clusters” (cf. Eastman, 1994) são classificados efetuando-se iterações e alguns são escolhidos na sua interpretação.

Numa etapa pós-classificação, com o uso do aplicativo ARCMAP desenvolvido pela tentando

resolver possíveis confusões e erros. Como resultado final foi gerado um mapa esquemático da área estuarina e seu entorno (Fig. 3) elaborado a partir do processamento descrito contendo oito classes de unidades geoambientais: 1) áreas urbanas, 2) campo de dunas e praias, 3) áreas de agricultura, 4) planície fluvial, 5) áreas de antigas salinas e áreas de fazenda de camarão, 6) área de mangue preservado, 7) área de mangue devastado e 8) canal fluvial e de maré. Metodologia semelhante foi utilizada por Dai et al. (2001) para elaboração de avaliação geoambiental do uso de área urbana na região noroeste da China.

#### **4. Discussões e Conclusões**

Em termos de riscos geoambientais, os principais impactos da expansão de áreas urbanas estão relacionados com alterações nos processos hidrológicos e sedimentares (Pauleit et al., 2005). Chinn (2006) com base numa compilação de 100 trabalhos desenvolvidos em diversas regiões do planeta, afirmou que nos estágios iniciais dos processos de urbanização prevalece uma sobrecarga no fornecimento de sedimentos para às áreas de drenagem, posteriormente, com a expansão das áreas impermeabilizadas ocorre a inversão, tendendo a predominar a erosão nos canais fluviais. Na abordagem destas questões os produtos de sensoriamento remoto tem sido uma importante ferramenta. As imagens de satélites estão cada vez mais sendo utilizadas para avaliar mudanças no uso da terra e na cobertura dos solos em regiões urbanas (Jürgens, 2003). Ma & Xu (2010) realizaram, com base em imagens LANDSAT, estudo sobre a expansão urbana nos últimos 23 anos (1979 – 2002) da cidade de Guangzhou (Cantão, China) e apontaram que o crescimento urbano ocorreu de forma radial partir do seu centro histórico com variações para formas em anéis, em camadas e ao longo das principais rotas de tráfego. No entanto,

MAPA ESQUEMÁTICO PARA O ESTUÁRIO  
DO RIO PÔTENGI - COM A CLASSIFICAÇÃO DE  
UNIDADES GEO AMBIENTAIS

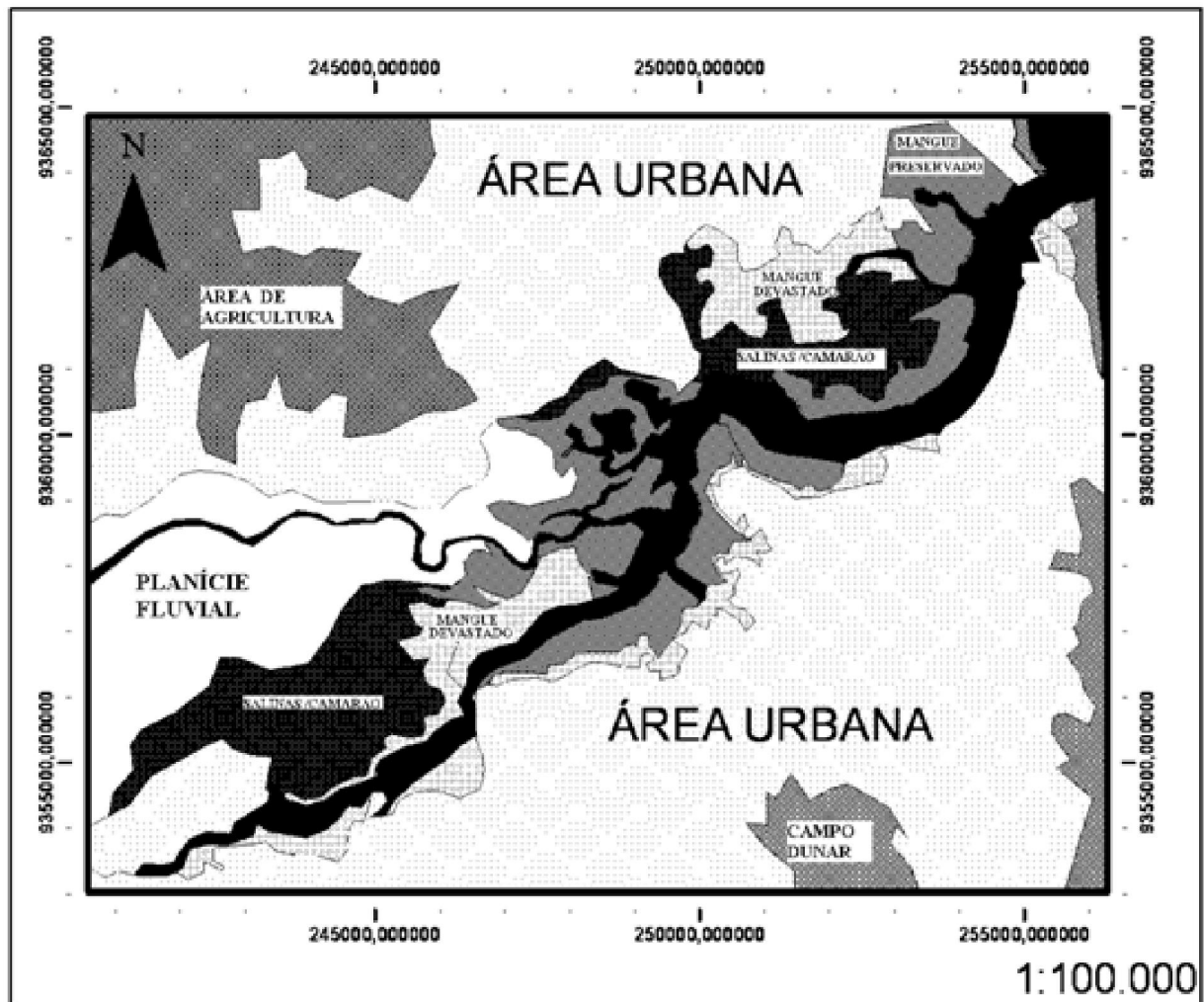


Fig. 3 - Mapa esquemático com a classificação de unidades geo-ambientais para a área do estuário do Rio Potengi.

ainda há uma escassez de modelos para prognosticar as consequências ao meio ambiente dos impactos gerados pelo aumento do escoamento superficial, das emissões atmosféricas, da impermeabilização dos solos, das cargas de efluentes urbanos, dos resíduos sólidos, entre outros (Weng, 2001).

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 recursos hídricos. De forma que a expansão da área urbana provocou forte impacto negativo na qualidade dos recursos hídricos do sistema aquífero Dunas-Barreiras. O principal vetor de contaminação são os efluentes e detritos acumulados em fossas sépticas e sumidouros.

Segundo ARSBAN (2006), os dados do teor de  $N-NO_3$  em  $mg L^{-1}$  coletados em poços de captação de água para abastecimento doméstico e industrial coletados em dezembro de 2006 (Fig. 4) revelam a presença de várias plumas de contaminação.

Como observado na fig. 4, destacam-se várias plumas de contaminação localizadas no entorno do estuário do Rio Potengi, como também sua extensão para as regiões norte e sul do município do Natal.

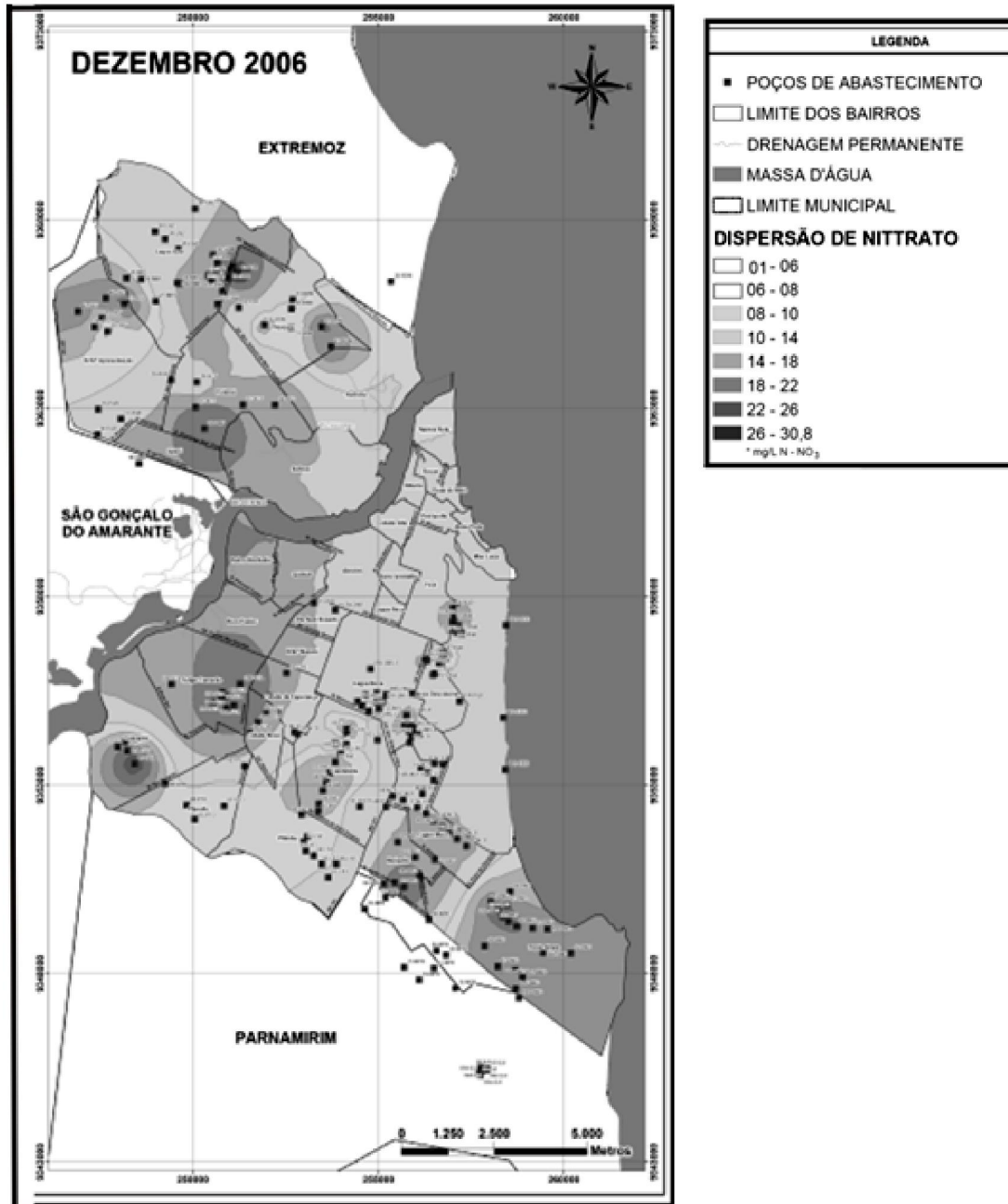
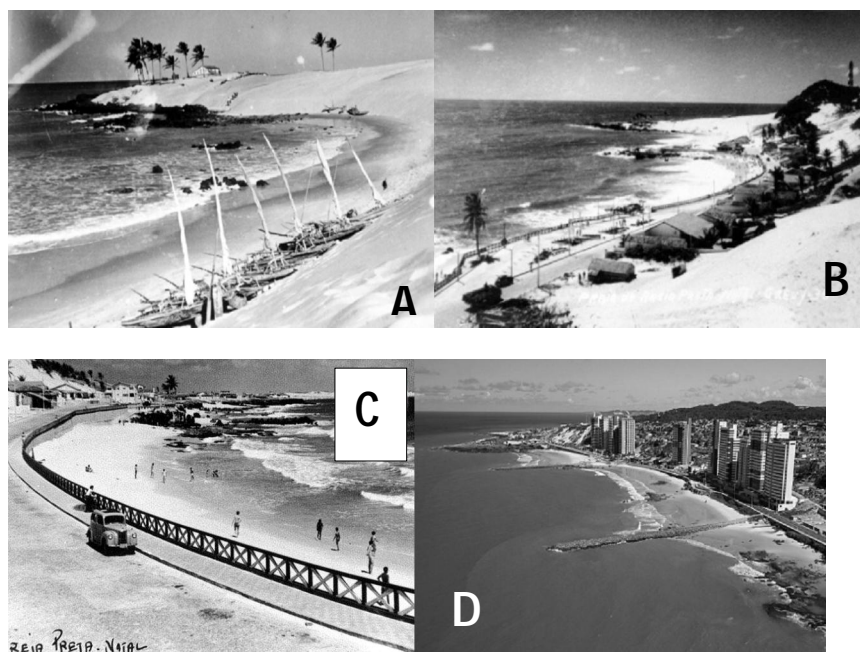


Fig. 4 – Mapa de isoteor de  $N-NO_3$  em  $mg L^{-1}$  do município de Natal-RN, elaborado a partir de amostras de água coletadas em poços, indicando a presença de pluma de contaminação em nitrato em várias áreas (em tons cinza mais escuros). Os dados foram retirados de relatórios técnicos da Agência de Regulação de Serviços de Saneamento Básico (ARSBAN, 2006).

Fenômenos de alterações dos processos de sedimentação e erosão são registrados na planície litorânea pela alteração cíclica da linha de costa e consequentemente dos perfis de praias. A ocupação da planície litorânea causa um impacto direto sobre a disponibilidade de material sedimentar, como também, sobre os fatores atuantes no transporte de sedimentos ao longo da linha de costa. Na Região Metropolitana de Natal, os processos erosivos têm-se acelerado com a ocupação urbana das dunas não vegetadas e das ante-praias pela retenção do

suprimento sedimentar oriundo destes ambientes. Áreas de erosão costeira (eg., praia de Areia Preta) foram submetidas a processos de recuperação com a implantação de espigões e recuperação artificial da faixa de praia. Segundo estimativa de Cunha (2004), na praia de Areia Preta ocorreu um recuo na linha de costa de 9 metros entre 1974 e 1999. A sequência de fotografias mostrada na Fig. 5 apresenta a progressiva variação paisagística da praia de Areia Preta nas décadas 30 e 60 do século XX e mais recentemente.



*Fig. 5 – (A) Praia de Areia Preta nos anos 30 do Século XX. Observa-se duna móvel contornando a pequena enseada, usada como ancoradouro para pequenas embarcações de pesca (jangadas). (B e C) Praia de Areia Preta nos anos 60 do século XX, onde se observa desenvolvimento do processo de urbanização com ocupação da ante-praia e do campo de dunas móveis. (D) Praia de Areia Preta atual (2007) com a implantação de espigões perpendiculares à linha de costa, aterramento e o campo de dunas móveis completamente ocupados e vegetados. Fotografias obtidas no sítio da Prefeitura Municipal de Natal (<http://www.natal.gov.br>).*

De acordo com a sistematização das principais características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, hidroquímicas, pedológicas e hidrogeológicas e geomorfológica da região metropolitana de Natal (RMN), foi possível a subdivisão da RMN em duas amplas unidades geoambientais são propostas: 1) 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 e 2) o litoral ou região litorânea é composta pela zona transicional e planície litorânea.

Na zona transicional afloram os sedimentos terciários da Formação Barreiras formando os

tabuleiros costeiros. A planície litorânea é a região em contato direto com o oceano, sendo formadas pelos campos de dunas, praias, planícies de maré e estuários.

A técnica de classificação não supervisionada de imagens geradas pelos satélites LANDSAT 1 e 7 permitiu embasar uma análise qualitativa preliminar das inter-relações entre a evolução urbana recente (1975–2001) e a dinâmica do meio físico da região metropolitana de Natal. Com essa análise foi possível a caracterização das principais áreas impactadas pela expansão urbana: (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 de dunas 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. A análise qualitativa da ocupação do estuário do Rio Potengi elaborada usando técnicas de classificação não supervisionada em ambiente GIS de imagens CBERS coletada em 23/09/2009, foi possível constatar que além da redução da área de estuário pela urbanização, as áreas de mangue foram devastadas para implantação de projeto de extração de sal e/ou viveiros para criação de camarão, tornando-as mais susceptíveis à erosão.

Diante da sistematização das características do meio físico, dos resultados obtidos da análise de produtos LANDSAT e CBERS, e dos dados hidroquímicos da concentração de nitrato em poços de captação de águas subterrâneas no município de Natal, torna-se evidente que a interação entre a dinâmica da expansão da área urbana e a dinâmica natural do meio físico constitui um fator de controle

dos principais riscos geoambientais na região estudada. Dentro deste quadro, destacam-se os riscos geoambientais relacionados com as alterações do ciclo hidrogeológico, identificados principalmente pela depreciação dos recursos hídricos, e dos relacionados com as alterações do ciclo sedimentar, envolvendo movimentação de sedimentos nas faixas de praias, campos de dunas e estuários.

## Referências Bibliográficas

- Amaral, R. F., Diniz Filho, J. B., Fonseca, V. P. da (2005). Degradação ambiental da cidade do Natal: Aspectos geomorfológicos e hidrogeológicos. IG. Série B, Estudos e Pesquisas, BRASIL - RECIFE/PE, v. 15, p. 102-113.
- ARSBAN, 2006, Relatório técnico integrado do diagnóstico das não conformidades no sistema de abastecimento de água para consumo humano da cidade do Natal com ênfase a contaminação dos poços e soluções para um maior controle das causas assinaláveis. Não publicado. Natal-RN, 2006.
- Assis, L. F. de. (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.
- Barreto, A. M. F.; Suguio, K.; Bezerra, F. H. R.; Tatum, S. H.; Yee, M.; Guannini, P. C. F. (2004). Geologia e Geomorfologia do Quaternário costeiro do Rio Grande do Norte. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-12.
- Castellani, R., Petta, R. P., Fernandes, R. C., Duarte, C. R., & Araújo, L. P. (2007). Mapeamento geoambiental do estuário do rio Ceará-Mirim, com base em imagens de alta resolução do satélite IKONOS II. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.28.16/doc/499-506.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2008.
- Chinn, A. (2006). Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*, v. 79 pp. 460 – 487.
- Clementino, M. L. M.; Pessoa, Z. S.. Segmentação numa Metrópole em Formação. In: SBS, 2007, Recife. 13º Encontro de Ciências Sociais do Norte Nordeste. Recife, 2007. 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.
- Daí, F.C., Lee, C.F. and Zhang, X.H., 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, Vol. 61, Issue 4, Sep., 2001, Pp. 257-271.
- Eastman, J. R., IDRISI: Exercícios tutorais. J. Ronald Eastman. Editor da versão em português, Heinrich Hasenack. Porto Alegre, UFRGS - Centro de Ecologia, 1994. 109p.
- 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.
- Frazão, E. P. (2003). Caracterização hidrodinâmica e morfo-sedimentar do estuário do rio Potengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarbonetos. Dissertação de Mestrado (não publicada). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 144 pp.
- 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.
- IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Página <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, consultado em 11/12/2010.
- IDEMA. Anuário Estatístico do Estado do Rio Grande do Norte. Natal: IDEMA/RN; 2008. Site: <http://www.idema.rn.gov.br> (consultado em 15/11/2010).
- Jürgens, C. (Ed.), 2003. Remote Sensing of Urban Areas. In: Proceedings of the ISPRS WG VII/4 Symposium, Regensburg, 27–29 June 2003, vol. XXXIV – 7/W9. The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Satellite Information Sciences.
- LAVAT, 2010. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, Centro Regional do Nordeste. Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais. Site: <http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=graficosClimatologica> em 10/12/2010.
- Melo, J. G. ; Figueredo, E. M. . 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, 1990.
- Pauleit, S., Ennos, R., Golding, Y., 2005. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71 (2–4), 295–310
- Pereira R., Silva Jr., G. C.; Guimarães Jr., J. 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
- 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, 2005.
- Ma, Y. & Xu R. (2010). Remote sensing monitoring and driving force analysis of urban expansion in Guangzhou City, China. *Habitat International*, v. 34, pp. 228–235.
- Novo, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. Ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1992. 307 p.
- SEMPLA - 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, 2006.
- Weng, Q., 2001. Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. *Environmental Management* 28 (6), 737–748.

