

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DA DINÂMICA DA COBERTURA DA TERRA POR SENSORIAMENTO REMOTO

Reinaldo Antônio Petta

Doutor em Geoquímica Ambiental, Professor do Departamento de Geologia da UFRN. Caixa Postal 1607 Campus Universitário-Natal-RN-59078-970, petta@geologia.ufrn.br

Rodrigo Cysneiros Fernandes

Mestre em Geociências, Funcionário do IDEMA, cysneiros@geologia.ufrn.br

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

Doutor em Geociências e Meio Ambiente, Bolsista DCR e Professor Associado Voluntário do Departamento de Geologia da UFRN, Paulo@geologia.ufrn.br

RESUMO

O ecossistema estuário é frágil às atividades humanas e seu uso inadequado provoca a diminuição da biodiversidade e do potencial econômico. O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica espacial e temporal da cobertura da terra, por técnicas de sensoriamento remoto, na área estuarina do rio Curimataú, inserida nos municípios de Canguaretama e Baía Formosa (RN), visando a gestão das atividades sócio-econômicas e a conservação do meio ambiente. As fotografias aéreas de 1997 e imagens de alta resolução espacial IKONOS II de 2003 foram classificadas pelo método supervisionado máxima verossimilhança, gerando os mapas de cobertura da terra, que após serem analisados, conclui-se que as atividades agrícolas e a carcinicultura, além de serem as principais atividades econômicas, são as que mais causam impactos no estuário Curimataú.

Palavras-chave: Fotografias aéreas, imagens IKONOS, classificação máxima verossimilhança, dinâmica espaço-temporal.

AUTOMATIC DETECTION OF LAND COVER DINAMIC BY REMOTE SENSING

ABSTRACT

The estuary ecosystem is fragile as human actions, and its inadequate use provokes the reduction of the biodiversity and the economic potential. The objective of this study is to analyze the space-temporal land cover dynamics, with remote sensing techniques, in the Curimataú estuary, placed in the cities of Canguaretama and Bahia Formosa (RN), focused in the management of the socio-economic activities and the environmental conservation. The aerial photographs of 1997 and the high resolution space IKONOS II images of 2003 were classified by a supervising method of maximum likelihood. They generated the land cover maps, that, after been analyzed, conclude that the agricultural activities and the shrimp farms

are, not only the main economics activities, but also the ones that causes more impact in the Curimataú estuary.

Keywords: Aerial photographs, IKONOS images, maximum likelihood classification, space-temporal dynamics.

INTRODUÇÃO

O termo cobertura da terra refere-se a todo o revestimento do terreno (NOVO, 1988), incluindo os recursos naturais renováveis e não-renováveis e a utilização cultural da terra, ou seja, o uso da terra (ALVES, 2004). As mudanças da cobertura das terras é uma necessidade para o estabelecimento da sociedade humana e produzem conseqüências negativas e/ou positivas. Deste fato decorre o interesse pelo seu estudo, exigindo a necessidade de informações cartográficas confiáveis e atualizadas para subsidiar a implantação de uma política sócio-ambiental. Este tipo de mapeamento temático é fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço (GREEN et al., 1994), os quais permitem diagnosticar e prognosticar a evolução da paisagem e mostrar a distribuição real das diferentes formas de uso e recursos naturais cada vez mais alterados pelas diferentes atividades antrópicas.

As técnicas de sensoriamento remoto se apresentam como um recurso tecnológico que atende a necessidade de obter um mapeamento e monitoramento da dinâmica espaço-temporal da paisagem, produzindo informações de alta resolução. A aplicação de dados sensorizados para esta finalidade requer a interpretação repetida e comparação das classes em datas diferentes. A detecção automática das áreas em que tenham ocorrido as mudanças na cobertura da terra reduz o tempo necessário à sua caracterização, e a torna menos subjetiva (LILLESAND et al., 2004). Os métodos de detecção automática da dinâmica da cobertura do terreno a partir de produtos de sensoriamento remoto baseiam-se no pressuposto de que, em geral, o diferente comportamento espectral corresponde a uma diferente cobertura da terra.

O crescimento da população implica, inevitavelmente, na ocupação de terras e na necessidade de criar condições de sobrevivência. Neste contexto, a utilização apropriada dos recursos naturais torna-se fundamental, para que sejam conservadas as funções econômicas do ambiente natural de modo a manter a sustentabilidade produtiva desses recursos. Dentre os ambientes naturais mais ameaçados e devastados pela ação antrópica,

no estado do Rio Grande do Norte, estão os estuários. Nestes biomas existem áreas cobertas por manguezais, restingas, florestas e praias de grande importância ecológica e social, que servem como fonte de sustento para a vida das populações ribeirinhas/litorâneas.

Posto isto, o objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica espacial e temporal da cobertura da terra, por técnicas de sensoriamento remoto, na área estuarina do rio Curimataú, inserida nos municípios de Canguaretama e Baía Formosa (RN), visando a gestão das atividades sócio-econômicas e a conservação do meio ambiente. Este trabalho se justifica pelos impactos sócio-ambientais gerados pelas atividades econômicas (agricultura intensiva e carcinicultura) e pela ausência de uma política adequada no ecoturismo. Estas atividades podem ser gerenciadas e manejadas através do mapeamento e análise da cobertura terrestre. Ressalta que este ecossistema flúvio-marinho é frágil às ações antrópicas e seu uso inadequado pode provocar a diminuição da biodiversidade e do seu potencial econômico.

SENSORIAMENTO REMOTO E USO DA TERRA

Para a detecção automática da dinâmica da cobertura da terra é essencial a utilização de sistemas de alta capacidade para o tratamento e análise de informações multi-temáticas (VALÉRIO FILHO, 1995). Nesse sentido, as técnicas de sensoriamento remoto, como o processamento de imagens digitais possibilita a maximização e a otimização deste procedimento (NASCIMENTO, 2006).

O Sensoriamento remoto trata da obtenção de informações sobre a superfície terrestre pela análise dos dados adquiridos por sensores que não estão em contato com o objeto de investigação. A visão sinótica e a repetitividade propiciadas pelas imagens orbitais de imagens permitem que se faça análises de extensas áreas, obtendo-se resultados com maior rapidez e precisão, se comparado aos métodos tradicionais de levantamentos do meio físico e biótico. A sua utilização tem sido baseada mais freqüentemente em técnicas de interpretação visual via digitalização manual dos *overlays*, porém a automatização deste procedimento tem gerado ganhos em termos de precisão, redução de tempo e custos (NASCIMENTO, 1996). Assim, as imagens orbitais podem ser processadas pela aplicação de algoritmos que visam melhorar a fidelidade da cena para a análise visual do intérprete e extrair parâmetros estatísticos para obter a classificação automática (SCHOWENGERDT, 1983; NOVO, 1988; PARADELLA, 1990). O emprego de técnicas de sensoriamento remoto proporciona um melhor aproveitamento do uso da terra e elaboração e atualização de mapas, em função de suas peculiaridades geoeconômicas e recursos financeiros (ASRAR,

1989). A superfície terrestre, da maneira como é sensoriada de um satélite, se apresenta como uma paisagem composta por solos, rochas, relevo, água, vegetação e por polígonos de ação antrópica. Desta forma, as características espectrais do alvo podem ser registradas de modo diferente em cada banda espectral, o que possibilita a identificação de diferentes alvos da comparação entre bandas (SLATER, 1980).

De maneira geral, os elementos de reconhecimento mais significativos na interpretação de imagens orbitais são os das fotografias aéreas convencionais: tonalidade, textura, padrão, formas de relevo, dentre outras foram originariamente definidos para as fotografias aéreas e são aplicados às imagens orbitais com algumas considerações. O aspecto espacial é de grande importância no processo de aquisição de informações por meio de imagens orbitais, pois cada alvo, geralmente, apresenta forma e distribuição características, que facilitam sua identificação na imagem. Outro aspecto é o intervalo espectral, que auxilia na escolha das bandas espectrais que melhor definem os alvos imageados. Por fim, o aspecto temporal é imprescindível na detecção da mudança dos alvos ocorrida no terreno. Para levantamentos do uso da terra e cobertura vegetal, a utilização das composições coloridas permite a aquisição de maior quantidade de informações. É possível obter um número muito maior de informações por meio de uma imagem colorida que por meio de uma em preto em branco, isto se deve ao fato do olho humano ser mais sensível a cores que aos tons de cinza (LORENZANO, 2002).

Na bibliografia pode-se adquirir informações sobre as características da área de estudo ou informações teóricas sobre o comportamento espectral dos alvos. Deve-se, então levantar na bibliografia informações sobre o comportamento espectral dos diferentes alvos sujeitos às diferentes condições pluviométricas. Estas informações teóricas ajudarão a discriminar, nas imagens, os diferentes tipos de alvos. Através de um exame preliminar das imagens, pode-se então dimensionar o número e o tamanho das áreas-testes para verificação de campo. Após a identificação dessas áreas, procede-se a interpretação final que, em função dos objetivos do levantamento a ser realizado, pode envolver a análise de composições coloridas, bandas individuais, seqüências de imagens ou imagens de uma mesma data (NOVO, 1988).

A concepção do homem como ser dominador e transformador da natureza é consequência tanto da herança cristã-judaica como dos modelos econômicos. Este posicionamento de posse do território define o modo como o homem molda o ambiente que o cerca. Por esse ponto de vista, o conceito de ambiente é mutável e está intrinsecamente relacionado com a historicidade (LEFF, 2001). Assim, a relação ambiente-sociedade é a máquina propulsora da dinâmica da paisagem antropizada, a qual apresenta magnitudes e freqüências diferenciadas ao longo do tempo e do espaço. As agressões ao meio ambiente

ocorrem quando a “simbiose” homem-natureza é interrompida e pela ausência de resistência por parte da comunidade, via Poder Público, para o funcionamento das atividades consideradas de riscos. A má distribuição de renda, as crises econômicas, sociais e políticas são as principais fontes da degradação ambiental e indica que o Estado, a cada dia que passa, perde o poder de superar os problemas da não implementação de modelos de gestão do território, que visam o desenvolvimento sustentável (OLLAGNON, 1997). Não é mais suportável para a sociedade e nem para a natureza, modelos de desenvolvimento que não respeitem seus limites, suas capacidades de absorverem impactos e auto-regenerar-se, sob pena do desaparecimento de ambos. A Constituição de 1988 prevê a Ordenação do Território e determina a competência da União.

As estratégias para o desenvolvimento sustentável são baseadas na avaliação acurada da capacidade de sustentação do território e da sua recuperação frente à atividade humana, como também na difusão e absorção do avanço tecnológico e sócio-econômico (NOBRE & AMAZONAS, 2002). A escolha pela preservação é motivada por valores que privilegiam a vida e o planeta no aspecto quantitativo e qualitativo. Tais valores são os suportes da ética individual e social em relação ao meio ambiente. A valiosa contribuição dos pesquisadores ambientais das diferentes áreas do conhecimento consiste, entre outras atividades, na avaliação das estratégias atuais de manejo e no desenvolvimento de alternativas que possam assegurar um gerenciamento efetivo dos ecossistemas que visa o maior benefício para a sociedade e o menor prejuízo para seus componentes ecológicos. É importante lembrar, que a responsabilidade com as gerações futuras não é somente das autoridades competentes e dos pesquisadores, mas de toda a sociedade atual.

As transformações que degradam os sistemas ecológicos vão desde a eliminação da cobertura vegetal primitiva, substituída ou alterada pelos espaços agropecuários e urbano-industriais, até a implantação do turismo não planejado, à medida que não respeite as condições ambientais, sócio-econômicas e culturais (SANTOS, 1996).

Desta forma, o uso e ocupação do solo são aqui entendidos como as diversas formas de intervenção do homem no meio físico a fim de atender às suas necessidades. Essas intervenções tanto podem resultar em benefício como em malefício à natureza e ao próprio homem. O uso inadequado do solo provoca e intensifica os processos erosivos e de assoreamento. O desenvolvimento da agricultura origina a concentração de fertilizantes e sedimentos que contaminam e causam o assoreamento os canais fluviais. Este quadro apresenta maiores dimensões quando se dá o desmatamento nas margens dos canais fluviais. A destruição da vegetação aquática pelo assoreamento causa redução na diversidade biológica e a retirada da vegetação ciliar aumenta a reflexão das ondas da água, o que gera correnteza e erosão das margens. A ausência de vegetação protetora do solo e

das margens dos rios e o assoreamento de seus leitos estão entre as principais causas dos eventos hidrológicos críticos (ROSS, 1994). A prevenção destes impactos depende da articulação dos planejamentos dos recursos hídricos e, especialmente, da área regional e integração com a gestão do uso do solo (MACHADO, 2003). Prevenir significa definir uma política de uso dos recursos do solo e da água de forma a garantir a sua conservação e de forma a mantê-los renováveis ao longo das gerações. Assim, é imprescindível ocupar o solo dentro de suas possibilidades e prever os riscos dessa ocupação para poder minimizá-los e de preferência evita-los.

Desta forma, a visão ambiental é um passo decisivo para a elaboração de qualquer projeto desenvolvimentista, para que haja uma garantia contínua da qualidade ambiental e sócio-econômica. O uso e ocupação do solo inadequado causam impacto tanto no meio ambiente quanto na organização sócio-econômica. O conhecimento da potencialidade natural é fundamental para prever o comportamento futuro dos sistemas naturais no processo de ocupação e adensamento da atividade sócio-econômica. E na mesma direção, embora com sentido oposto, a análise da potencialidade social deve buscar a capacidade do território em constituírem-se espaços de mudanças, isto é, gerar, difundir e absorver o desenvolvimento.

A estrutura produtiva da área estuarina de Curimataú está ligada à monocultura da cana-de-açúcar e cultura de camarões e as unidades produtivas não possuem alternativas de manejo que agreguem a produção de forma apropriada às condições do meio ambiente e do meio sócio-econômico. A realidade da ocupação da área de estudo é adversa aos princípios do desenvolvimento sustentável, pois a apropriação do território está inadequada com a capacidade do ambiente em sustentar estas atividades.

MATERIAL E MÉTODO

A análise apresentada neste trabalho foi desenvolvida no entorno do estuário do rio Curimataú, localizado no litoral Oriental do estado do Rio Grande do Norte, entre os paralelos 6°18'00" e 6°26'00" de latitude Sul e os meridianos 35°02'00" e 35°10'00" de longitude Oeste, incluindo parcialmente os municípios de Canguaretama e Baía Formosa. Juntos, estes municípios apresentam a maior densidade demográfica do litoral oriental potiguar e a economia está centrada no setor primário, com destaque na agricultura (cana-de-açúcar e coco-da-baía), carcinicultura e pesca.

Adotou-se uma abordagem metodológica baseada na extração de informação multitemporal obtida de diferentes-sensores e níveis de aquisição (MATHER, 1993; RICHARDS, 1995). Assim, foram utilizadas fotografias aéreas de 1997, mosaicadas,

georreferenciadas e cedidas pelo IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte) e imagens orbitais de alta resolução espacial IKONOS II de 2007, as quais podem mapear detalhes que antes não eram possíveis através dos satélites existentes. Verificaram-se os trabalhos desenvolvidos pelos autores Greenhill et al (2003); Ribeiro (2003); O'Hara et al. (2003); Mendonça et al. (2007) Young e Carmo (2007), que, de uma forma direta e/ou indireta, forneceram subsídios teóricos a este trabalho.

O primeiro procedimento foi o registro das imagens IKONOS utilizando como base, o mosaico das fotografias aéreas georreferenciadas de 1997. O intervalo de tempo entre a aquisição das fotografias aéreas e da imagem é de 6 anos, o que facilitou a utilização de pontos de controle com as características ideais. Assim, após a seleção dos pontos de controle mais precisos, definiu-se a equação de mapeamento dos pontos da Imagem IKONOS às fotografias aéreas. Utilizou-se a reamostragem radiométrica do vizinho mais próximo, com um polinômio de mapeamento de primeiro grau. O processo de registro de imagens neste trabalho é de particular importância, pois para a análise da variação espaço-temporal das classes de cobertura da terra, as imagens devem estar devidamente georreferenciada. O erro total de posicionamento foi de 0,34 pixel. Este índice de precisão ficou dentro dos limites de precisão cartográfica recomendado por Silva (2003).

Além da geocorreção das imagens, para minimizar o efeito aditivo da atmosfera foi utilizado o método do histograma, proposto por Chavez (1988). Essa abordagem subtrai os valores de níveis de cinza de corpos d'água (profundos e límpidos). A produção deste procedimento produziu um ligeiro escurecimento das imagens, uma vez que deslocou o histograma para a esquerda, mas por outro lado, ofereceu uma visualização mais nítida dos alvos. Em seguida, vários processos de realce de imagens foram realizados para aumentar o contraste entre os alvos e assim, auxiliar a localização dos sítios de treinamento a serem utilizados na classificação. As ampliações de contraste foram realizadas pela expansão linear, que é uma maneira simples de aumentar o contraste de uma imagem, e para executar essa transformação é necessário encontrar uma função linear que ajuste a relação entre o número digital e o nível visual (CURRAN, 1985). Matematicamente, a média e o desvio-padrão são utilizados para determinar o intervalo de variação dos dados. O histograma de saída é idêntico em formato ao de entrada (original), exceto que ele terá um valor médio e espalhamento diferentes.

Para o processo de detecção, foi utilizada a técnica de classificação automática supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER). O método estatístico de máxima verossimilhança é o método de classificação pixel a pixel mais comum. Considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação seja precisa o suficiente, é necessário um

número razoavelmente elevado de pixels, para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

A primeira classificação foi realizada nas imagens IKONOS II, pois estas permitiram a realização de diversas composições coloridas, que combinadas com o trabalho de campo auxiliaram na definição do treinamento das amostras e na definição da legenda de acordo com a verdade terrestre. É importante que as amostras de treinamento sejam homogêneas e representativas de cada classe de interesse (CHUVIECO, 2000). Assim, para que a classificação Maxver seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de pixels, para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Ao fim deste processo, realizou a pós-classificação, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pixels isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto, gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. Para os agrupamentos destes pixels é necessário escolher o peso e o limiar da máscara 3x3, foram utilizadas a experiência dos autores e a verdade terrestre para definir estes parâmetros. Este fato comprova que a análise por sensoriamento remoto, seja, ela feita por interpretação visual ou automaticamente, depende do conhecimento e da prática dos analistas e não descarta o trabalho de campo. Terminado o mapa de cobertura da terra a partir das imagens IKONOS, foi realizada a classificação das fotografias aéreas, obedecendo a mesma legenda e os mesmos procedimentos. Para todos estes processamentos foram realizados no programa computacional ENVI v.4 e no trabalho de campo foi utilizado o GPS Garmin e-Trex. Os trabalhos de campo foram essenciais no decorrer deste trabalho e consistiram no reconhecimento visual da área de estudo, identificação e localização dos pontos de controle, descrição e documentação dos problemas existentes na área do município, no intuito de ajudar no processo de interpretação automática das imagens procurando identificar feições não compreendidas nas imagens IKONOS II e nas fotografias aéreas.

RESULTADOS

A utilização de produtos de sensoriamento remoto de alta resolução permitiu a geração de uma cartografia de precisão (Figuras 01 e 02), facilitando a quantificação e a

análise da evolução espaço-temporal da paisagem entre 1997 e 2007 do estuário Curimataú. Com a classificação supervisionada Maxver aliada ao trabalho de campo foi possível definir a legenda dos mapas de cobertura da terra da área de estudo: Mata Atlântica, Manguezal, Apicum, Área Alagadiça, Campo Aberto, Restinga, Cultura Permanente, Cultura Temporária, Carcinicultura, Área Urbana, Praia e Rio. Os índices de exatidão do mapeamento e abstenção encontrados foram em média de 89,37% e 10,63% para as imagens IKONOS e 87,45% e 12,55% para as fotografias aéreas, atingindo 100% após a pós-classificação (uniformização dos temas), com o valor do peso e do limiar da máscara 3x3 igual a 3.

Na análise espaço-temporal, devido a variação do nível do mar, as áreas constituídas pelas praias e pelos canais fluviais não foram englobados, e as áreas formadas por apicum foram englobadas nas de manguezal.

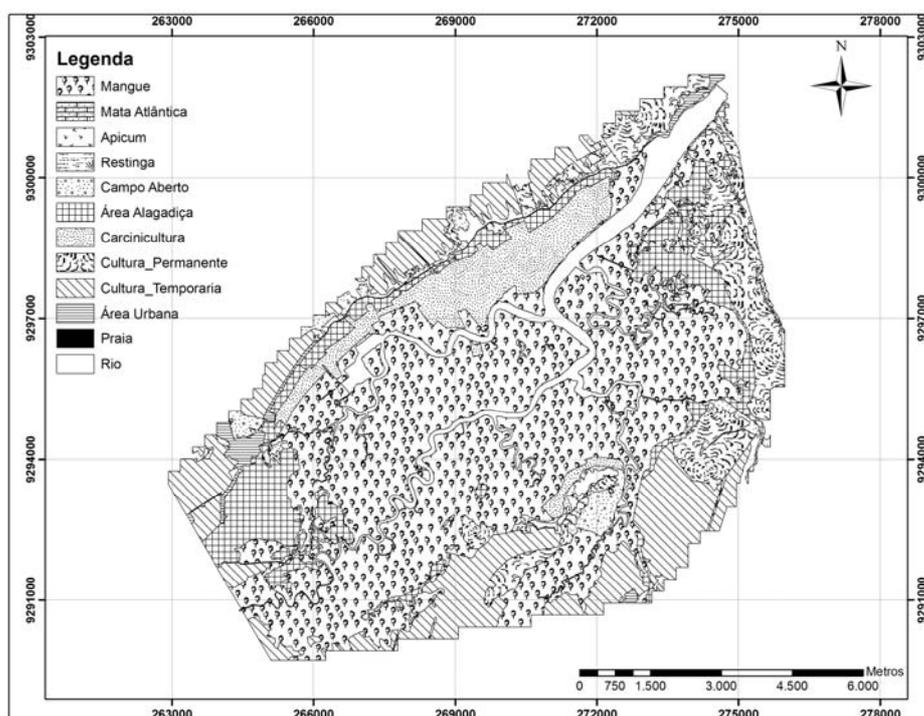


Figura 1 – Mapa da cobertura da terra no ano de 1997

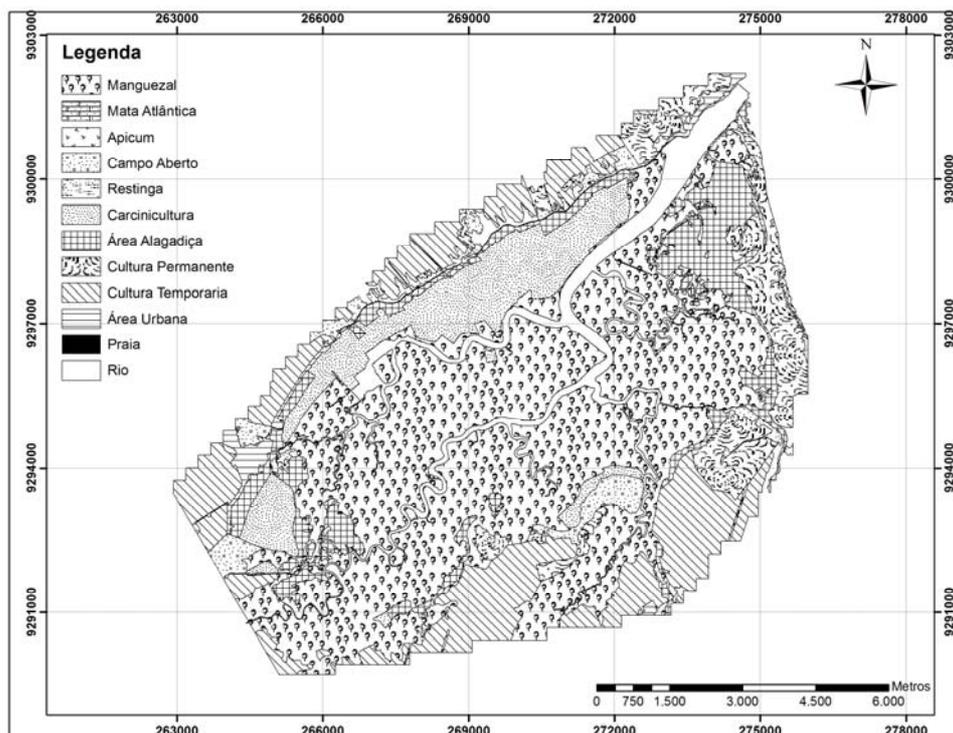


Figura 2 – Mapa da cobertura da terra no ano de 2007

A variação das classes, nos seis anos de entre a aquisição dos produtos sensoriados, atingiu um total de 394ha, o que corresponde a aproximadamente a 4,6% da área, que possui 8.545ha. A dinâmica dos ambientes naturais é representada pela diminuição de 1,4% (117ha) das classes Mata Atlântica, manguezal e restinga e pelo aumento de 0,4% (34ha) dos campos abertos e áreas alagadiças. Nos ambientes humanizados, o aumento da área urbana, carcinicultura e cultura temporária atingiu 2,1% (178ha) e a diminuição da classe cultura permanente foi de 0,7% (65ha). Maiores detalhes desta dinâmica espaço-temporal podem ser visto na tabela 01, que mostra as áreas, em hectare, das classes de cobertura da terra nos anos de 1997 e 2003 e a sua respectiva variação, em hectare e porcentagem.

TABELA 01 – EVOLUÇÃO DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL ENTRE OS ANOS DE 1997 E 2007 DA ÁREA ESTUARINA DO RIO CURIMATAÚ

	1997	2007	1997/2007	1997/2007
Mata Atlântica	204	136	68	33,34
Área Alagadiça	281	311	30	9,65
Manguezal	4.653	4.612	41	0,89
Campo Aberto	256	260	4	1,54
Restinga	28	20	8	28,57
Cultura Permanente	833	768	65	7,80
Cultura Temporária	1.460	1.544	84	5,44

Carcinicultura	670	761	91	11,96
Área Urbana	130	133	3	2,56

O crescimento da área urbana foi de 2,56 %, o que representa apenas 0,03% do total da área, no entanto, ao redor da área de estudo, os municípios de Canguaretama e Baía Formosa apresentam-se intensamente urbanizadas. Esses núcleos urbanos interferem seriamente no sistema fluvial, gerando efluentes e depositando-os nos rios da bacia sem o devido tratamento, ocasionando a contaminação das águas.

A diminuição das culturas permanentes em 7,80% ou 0,76% da área possibilitou o crescimento de 9,65% das áreas alagadiças, 5,44% das culturas temporárias e 11,96% da carcinicultura, totalizando, respectivamente, 35%, 0,98% e 1,06%. O crescimento das áreas alagadiças ocasionou a diminuição da restinga em 28,57% ou 0,09% de toda a área. É importante ressaltar que as culturas temporárias favorecem mais o processo erosivo do que as permanentes e a carcinicultura deposita efluentes no estuário sem tratamento prévio, promovendo danos ambientais que atingem diferentes formas de vida. Como o crescimento destas atividades foi maior que a diminuição das culturas permanentes, elas se expandiram também nas áreas alagadiças, nos manguezais e na Mata Atlântica. A Mata Atlântica reduziu em 33,34%, os manguezais, em 0,89%, que representam 0,80% e 0,45% de toda a área. Por fim, a classe campo aberto substitui uma porção da área alagadiça, o que aumentou em 1,54% ou 0,04% da área.

A alteração na dinâmica espaço-temporal do estuário Curimataú se deu principalmente pela substituição das áreas da Floresta Atlântica e manguezais pelas culturas temporárias e carcinicultura, perturbando a hidrodinâmica do ambiente estuarino, resultando na ampliação dos terrenos alagadiços e estes reduzindo a já incipiente área de restinga.

O desmatamento do manguezal e das florestas e a intensificação das atividades agrícolas e de carcinicultura provocam a perda da qualidade do ambiente estuarino, pois inibe a retroalimentação deste ecossistema, contribuiu com a contaminação das águas, sedimentos de fundo e, conseqüentemente, da fauna estuarina. É uma área bastante frágil do ponto de vista ambiental, necessitando, dessa forma, de estudos que viabilizem racionalmente a utilização correta dos seus recursos naturais. Os principais impactos ambientais na área do estuário do Curimataú estão relacionados com a utilização de terras pela agricultura intensiva, provocando o assoreamento dos rios, que aliada a atividade de carcinicultura e o crescimento populacional, promovem a contaminação dos recursos hídricos e do solo.

Estas perturbações provocam a ruptura do equilíbrio natural comprometendo a sobrevivência das populações ribeirinhas, que têm no estuário a sua principal fonte de alimentação e renda, como a pesca. Além disso, esta região é privilegiada pelo patrimônio natural e ecológico, o que a torna uma potencialidade turística, conseqüentemente uma fonte geradora de recursos econômicos.

O Código Florestal Brasileiro instituído em 1965, seguido por vários outros documentos legais impõe restrições sobre o uso de áreas denominadas de preservação permanente. Entretanto, devido à tradição de uso intensivo do solo no passado e da dificuldade de imposição deste código, impactos ambientais, como os supracitados, são comuns no Brasil. Diante deste quadro recomenda-se, para a conservação do meio ambiente e para o desenvolvimento sócio econômico local as seguintes práticas: reflorestamento da vegetação de florestas, mangues e dunas e recomposição da mata ciliar (BRASIL, 1965); adoção de culturas consorciadas e rotativas, em oposição à monocultura secular da cana-de-açúcar (CHAGAS, 1984; BERNI et al, 2002); gestão ambiental integrada nas fazendas de camarão (RICHARD Jr., 2006); combinação entre o conhecimento empírico das populações locais com o conhecimento científico atual para a pesca participativa (CARDOSO, 2004); e implantação do ecoturismo (PIRES, 1998), ao invés do turismo espontâneo ou não planejado incipientemente já consolidado.

CONCLUSÕES

Pela análise da dinâmica da cobertura da terra na área estuarina de Curimataú foi possível identificar os fatores geradores dos impactos ambientais na área de estudo e possibilitou concluir que esses problemas estão centrados nos seguintes aspectos:

- O primeiro é quanto à vocação da região em utilizar o solo agricultável com culturas intensivas de curto ciclo produtivo (cana-de-açúcar), o que constantemente gera o desmatamento desordenado da vegetação natural, a intensificação dos processos erosivos e de assoreamento, a mudança no regime hídrico e a perda da fertilidade do solo;
- O segundo aspecto está relacionado às fazendas de cultivo de camarão no interior do estuário, onde foi retirada a vegetação de mangue para a instalação dos tanques e a ausência de um sistema de gestão ambiental;
- O último baseia-se no impacto provocado pelo lançamento de efluentes e lixos provenientes de atividades urbanas, nos rios constituintes da bacia hidrográfica;

Estas fontes impactantes estão localizadas ou atingem as áreas de preservação de acordo com a Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, do Código Florestal, modificado pela

Lei 7.803 de 18 de Julho de 1989. Desta forma, a utilização desta lei e dos produtos gerados neste trabalho são parâmetros suficientes para as tomadas de decisão para a conservação do meio ambiente e desenvolvimento das atividades econômicas, ambas necessárias para a qualidade de vida da população dos municípios de Canguaretama e Baía Formosa.

Sugere-se o investimento na atividade ecoturística, que contribui para a geração de empregos e conseqüentemente, no desenvolvimento sócio-econômico. Para tal é necessário definir políticas de proteção ambiental da área, minimizando as fontes de poluição supracitadas e infra-estrutura aos turistas baseada no turismo sustentável. É importante ressaltar que o turismo no Rio Grande do Norte atrai, comumente, investidores nacionais e internacionais descompromissado com a população local, tornando o custo de vida mais caro e aumentando a desigualdade social. Desta forma, a população local não pode ficar excluída e marginalizada, mas sim comprometida com esta atividade, usufruindo de forma apropriada e justa desta fonte de renda.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H.P.F. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Departamento de Sociologia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. John Wiley & Sons, New York. 1989. 734p.
- BERNI, R. F.; SILVEIRA, P. M.; COSTA, J. L. S. Influência do preparo de solo e da rotação de culturas na severidade de podridões radiculares no feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, n.2, p. 69-74, 2002.
- BRASIL. **Lei Federal No 4.771, de 15 de setembro de 1965** (Institui o Novo Código Florestal Brasileiro), 1965.
- CARDOSO, T. A. **Subsídios para o manejo participativo da pesca artesanal da manjuba no Parque Estadual da Ilha do Cardoso**. 2004. 101f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- CHAGAS, J. M. O consórcio de culturas e razões de sua utilização. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 118, p. 10-12, 1984.
- CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing Environment*, v.24, n.8, p. 459-469. 1988.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Rialp S.A., 2000. 568 p.
- SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Unicamp, 2003. 236p.
- CURRAN, P. **Principles of Remote Sensing**. New York: Longman, 1995. 282p.

- GREEN, K.; KEMPKA, D.; LACKEY, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and landuse change. **Photog. Engin. & Remote Sensing**, v.60, n.3, p. 265-271. 1994.
- GREENHILL, D. R., RIPKE, L. T. HITCHMAN, A. P., JONES, G. A., WILKINSON, G. G. Characterization of suburban areas for land use planning using landscape ecological indicators derived from Ikonos-2 multispectral imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 9. p. 2015-2021. 2003.
- LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez, 2001. 239 p.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Miley & Sons. 5. ed. 2004. 763 p.
- LORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 97p.
- MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. São Paulo: Melhores Editores, 2003. 1031p.
- MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993. 352 p.
- MENDONÇA, L. E. R.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; RIBEIRO, G. A.; RIBEIRO, C. A. A. S. Mapeamento do uso da terra baseado em imagem Ikonos II com a utilização de algoritmos classificadores por pixels e por regiões. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 603-610.
- NASCIMENTO, P. R. N. otimização da técnica de interpretação visual em imagens TM/LANDSAT através da técnica de segmentação por crescimento de regiões. **Revista da Univap**, São José dos Campos, v. 4, n. 5, p. 11-14, 1996.
- NOBRE, M.; AMAZONAS, M. C. **Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: IBAMA, 368p. 2002.
- NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1988. 308p.
- O'HARA, C. G.; KING, J. H. C.; KING, R. L. Multitemporal Land Use and Land Cover Classification of Urbanized Areas within Sensitive Coastal Environments. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**.v. 41, n. 9, p. 2005-2014. 2003.
- OLLAGNON, H. **Estratégia patrimonial para a gestão dos recursos e dos meios naturais: enfoque integrado da gestão do meio rural**. São Paulo: Cortez, 1997. 57 p.
- PARADELLA, W. R. **Introdução ao processamento digital de imagens de sensores remotos aplicados à geologia**. São José dos Campos: INPE, 1990. (INPE-5023-RPE/616).
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 340 p.
- RICHARDS Jr. **Modelo para implantação de sistema integrado de gestão ambiental para carcinicultura marinha**. 2006. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. 2003. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes antropizados. **Geografia**, v.8, p.63-74, 1994.
- SANTOS, P. S. **Crime ecológico: da filosofia ao direito**. Goiânia: UFG, 1996. 132p.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic, 1983.

SLATER, F. N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Addison-Wesley Company, Canada, 1980. 575p.

VALERIO FILHO, M. Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento. In: TAUKE-TORNISIELLO, S. M. et al. **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: CEA-UNESP, 1995. p.135-139.

YOUNG, A. F.; CARMO, R. L. Transformações na paisagem, mudanças no uso do solo e planejamento: o sensoriamento remoto como instrumento de análise no caso de Curitiba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.5551-5559.