

Uso de geotecnologias para mapeamento de manguezais

Fábio Murilo Meira Santos

Analista de Geologia, perito da Procuradoria da República em Pernambuco; engenheiro geólogo e engenheiro de minas pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP-MG); mestre em Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP-PE); pós-graduado em Gestão Ambiental pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC-MG).

Resumo: No Brasil, embora os manguezais sejam considerados áreas de preservação permanente pela legislação federal, são raros os mapeamentos detalhados desses ecossistemas. Os impactos ambientais que os atingem podem ser causados por fenômenos naturais ou por atividades antrópicas, em que se destacam desmatamentos, agricultura, aterros, movimentação e exposição do solo, atividades portuárias, derramamentos de produtos químicos, atividades industriais, especulação imobiliária, construção de rodovias e ferrovias, tanques para aquicultura/carcinicultura, entre outras. Desenvolveu-se, por meio deste estudo, um procedimento metodológico consistente da elaboração de uma base de dados georreferenciada e da construção de um sistema de informações geográficas, utilizando-se o sistema de informações geográficas *Spring* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e foi elaborado um mapeamento geoambiental em que se diagnosticou a situação dos manguezais em uma área situada no litoral sul de Pernambuco, com foco na degradação ambiental e nas alterações deste ecossistema, a partir de análise de imagens do satélite LANDSAT-5 para os anos de 1989, 1999 e 2006. Os resultados obtidos permitiram diagnosticar e identificar as atividades antrópicas existentes na área de estudo. Concluiu-se que, na evolução do uso e da ocupação do solo para os anos de 1989 a 2006, horizonte de 17 anos, houve um decréscimo da ordem de 27,19% das áreas de manguezais. Por fim, devida atenção foi dispensada a possíveis aplicações e extensões deste trabalho, objetivando a implantação de atividades sistemáticas de monitoramento para acompanhamento da situação ecológica desses ecossistemas, visando a sua preservação.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Uso e ocupação do solo. Sistema de informações geográficas. Estudo multitemporal.

Abstract: In Brazil, although the mangroves are considered areas of permanent preservation by the federal legislation, the detailed mappings of these ecosystems are rare. The environmental impacts that may affect them can be caused by natural phenomena or human activities, which highlight deforestation, agriculture, landfills, soil exposure and handling, port activities, chemical spills, industrial activities, land speculation, road construction and railways, tanks for aquaculture/shrimp farming, among others. Developed through this study, a methodological procedure for the preparation of a georeferenced database and construction of a geographic information system, using the *SPRING/INPE*, and a geoenvironmental mapping was prepared where the situation of the mangroves in an area located on the southern coast of Pernambuco was diagnosed, with a focus on environmental degradation and changes in this ecosystem, from analysis of satellite images from *LANDSAT-5* for the years 1989, 1999 and 2006. The results allowed to diagnose and identify human activities in the area of study. It was concluded that in the evolution of the use and land occupation for the years 1989 to 2006, 17-year horizon, there was a decrease of approximately 27.19% of mangrove areas. Finally, attention to possible applications and extensions of this work was dispensed, aiming implementation of systematic monitoring activities to monitor the ecological condition of these ecosystems with a view to their preservation.

Keywords: Remote sensing. Use and land cover. Geographic information system. Multitemporal study.

Sumário: 1 Introdução. 2 Revisão bibliográfica. 2.1 O uso de imagens de satélites no estudo de fenômenos ambientais. 3 Material e métodos. 3.1 Área de estudo. 3.2 Materiais utilizados. 3.3 Coleta, levantamento de dados e métodos. 4 Resultados e discussões. 4.1 Análise multitemporal dos resultados do uso e da ocupação do solo. 4.2 Análise das áreas de manguezal após utilização do filtro do relevo. 5 Conclusões.

1 Introdução

As zonas costeiras cumprem importantes funções ecológicas, sociais e econômicas. Lacerda et al. (2006) apontam que a zona costeira, além de sofrer a variabilidade induzida por mudanças globais, é hoje a região de maior densidade populacional do planeta e hospeda grande parte das áreas urbanas e regiões industriais. Obras de engenharia marinha (portos, canais navegáveis, dragagens e aterros artificiais), represamento de rios, instalações de áreas de lazer, turismo e urbanização, entre outras intervenções, resultam em mudanças rápidas das características ambientais locais.

Os estuários estão inseridos nas zonas costeiras e constituem um viveiro natural, onde a vida marítima encontra um dos seus condicionantes mais decisivos, tendo em vista que estão incluídos entre os ambientes mais férteis do mundo (FIDEM, 1987).

Os ecossistemas estuarinos estão sob constante pressão antrópica, devido, principalmente, ao desenvolvimento urbano desordenado, à exploração de sal, à aquicultura e à poluição por esgotos industriais e domésticos. Nos últimos anos, devido aos processos de ocupação indiscriminada e à consequente degradação ambiental, essas áreas que servem de abrigo para vários organismos vêm sendo afetadas. Como resultado, consequências desastrosas podem estar ocorrendo, podendo limitar a produtividade, quer do ponto de vista biológico, quer do econômico (BARROS; ESKINAZI-LEÇA, 2000).

Schaeffer-Novelli (1995) destaca que a área de manguezal no Brasil corresponde à aproximadamente 10.000 km² a 25.000 km², que compreende desde o Amapá até Laguna, no Estado de Santa Catarina, limite austral desse ecossistema no Atlântico Sul Ocidental.

Os impactos ambientais que atingem os manguezais podem ser causados por fenômenos naturais ou por atividades antrópicas. Para Schaeffer-Novelli (1995), entre os impactos causados pelas atividades humanas, destacam-se: extrativismo vegetal e animal, agricultura (inundações, canalizações, aterros, movimentação e exposição do solo, uso de agrotóxicos e fertilizantes etc.), atividades portuárias (que podem causar desmatamentos, aterros, armazenamento e transporte de cargas tóxicas, derramamentos etc.), atividades industriais, imobiliárias, minerações, construção de oleodutos e gasodutos, construção de rodovias e ferrovias, aterros sanitários, áreas de despejo e empréstimo, salinas, barragens, usinas atômicas, guerras, construção de tanques para aquicultura, notadamente para carcinicultura etc.

No Brasil, onde os manguezais são considerados áreas de preservação permanente pela legislação federal, são raros os mapeamentos detalhados desses ecossistemas. As áreas de manguezal vêm sofrendo alterações significativas ao longo da costa brasileira, sobretudo em razão de ações humanas diretas e ilegais como o desmatamento e a conversão da área para outros usos, como desenvolvimento urbano, no Sudeste, e atividades turísticas e de maricultura (criação de frutos do mar em fazendas marinhas), no Nordeste (LACERDA et al., 2009).

A produtividade dos ecossistemas estuarinos, aliada ao fato da crescente demanda da exploração de seus recursos naturais e das atividades econômicas desenvolvidas nestas áreas, faz crescer a necessidade de implantarem-se atividades sistemáticas de monitoramento para gerar informações e acompanhar a situação ecológica desses ecossistemas, visando a sua utilização racional (SANTOS, 2008).

Florenzano (2002) aponta que o ecossistema de manguezal é facilmente destacado em imagens de satélites por sua forma

irregular, cor mais escura que a dos demais biomas e tipos de vegetação, o que decorre da influência da água existente nesses ambientes e da sua localização litorânea, ao longo da zona costeira.

Ainda segundo a referida autora, a partir da interpretação dessas imagens satelitais, torna-se possível mapear e monitorar esses ecossistemas, tendo em vista o controle da degradação aí observada.

Nesse contexto, em razão da necessidade de estudos mais aprofundados sobre o assunto, pretende-se com este artigo diagnosticar a situação dos manguezais em área do litoral sul de Pernambuco, com foco na degradação ambiental e nas alterações deste ecossistema, a partir de análise multitemporal.

2 Revisão bibliográfica

2.1 O uso de imagens de satélites no estudo de fenômenos ambientais

Segundo Florenzano (2002), as imagens de satélites, obtidas por sensores remotos, ao recobrirem sucessivas vezes a superfície terrestre, possibilitam o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, como aqueles da atmosfera, do vulcanismo, da erosão do solo, da inundação etc., e aqueles antrópicos, como o desmatamento, por exemplo. Esses fenômenos deixam marcas na paisagem, que são registradas em imagens de sensores remotos.

Sobre o assunto, verifica-se, com efeito, que, para a avaliação e o monitoramento de áreas desmatadas, é empregado, comumente, o aspecto multitemporal das imagens satelitais, ou seja, de diferentes épocas. Dessa forma, torna-se possível identificar o uso e a ocupação

da terra e, principalmente, acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo.

A partir do uso de imagens de satélites, é possível identificar, calcular e monitorar o crescimento de áreas desmatadas, áreas atingidas pelo fogo (queimadas), áreas impermeabilizadas, áreas submetidas a processos de erosão e áreas inundadas (FLORENZANO, 2002).

Assim, é possível a geração de mapas temáticos de áreas desmatadas, por exemplo, de diferentes datas, a partir da interpretação dessas imagens de satélite. Consequentemente, como mencionado anteriormente, torna-se possível, também, a integração dessas informações geradas e a estimativa e o cálculo das taxas de desmatamento, utilizando-se, para tanto, um sistema de informações geográficas (SIG).

As imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem por meio do uso e da ocupação do espaço geográfico. Os elementos da paisagem mais visíveis em imagens de satélites e fotografias aéreas são o relevo, a vegetação, a água e o uso da terra.

A partir da interpretação dessas imagens, torna-se possível a identificação de áreas desmatadas, queimadas, invadidas e ocupadas ilegalmente ou exploradas de forma irregular. Dessa maneira, tanto a sociedade civil quanto o Poder Público podem usar esse recurso para denunciar e impedir as agressões ao meio ambiente (FLORENZANO, 2002).

Nesse contexto abordado, nota-se que as imagens de sensores remotos podem ser um recurso eficiente para a fiscalização do

cumprimento da legislação ambiental, por meio da exploração da informação espacial, espectral e temporal, no domínio digital, e sua posterior integração com outros tipos de dados georreferenciados, mediante um sistema de informação geográfica.

3 Material e métodos

O presente artigo desenvolveu-se por meio das seguintes etapas, a saber:

- Revisão bibliográfica: foram identificados, selecionados e avaliados estudos da literatura técnico-científica, em especial o acervo existente no Estado de Pernambuco, a exemplo de teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias, artigos técnicos publicados, livros técnicos, além de projetos já desenvolvidos e executados ao longo das últimas décadas relativamente à zona costeira pernambucana, elaborados por universidades e órgãos de fomento federais, estaduais e municipais.

- Trabalho de campo: coleta primária de dados – foram realizadas idas a campo para controle das classes identificadas, assim como para sua caracterização mais detalhada. Os dados coletados nesta etapa foram utilizados para finalização dos trabalhos de mapeamento previstos.

- Preparação da base cartográfica, análise e interpretação dos dados e informações geradas.

- Montagem e elaboração do banco de dados do SIG.

- Estabelecimento do SIG para a área estudada: os dados obtidos nas várias fases do trabalho foram integrados em um sistema de informações geográficas com auxílio de *software* específico. Após, foi realizada a produção cartográfica dos mapas temáticos.

3.1 Área de estudo

O presente artigo abrangeu o ecossistema de manguezal, limitando-se ao norte pelo Rio Jaboatão, entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho, e ao sul pelo Rio Sirinhaém, entre os municípios de Ipojuca e Sirinhaém.

A área estudada está compreendida entre os paralelos 08° 12' 0,03" e 08° 38' 38,07" de latitude sul e os meridianos 34° 53' 17,16" e 35° 08' 23,46" de longitude oeste, sistema geodésico de referência: SAD69, perfazendo uma superfície de aproximadamente 60.000 ha (sessenta mil hectares) ou 600 km² (seiscentos quilômetros quadrados).

Selecionou-se a referida área tendo em vista que ela se constitui como um dos últimos e maiores remanescentes dos ecossistemas de manguezais do Estado de Pernambuco, apresentando percentualmente uma das menores taxas de ocupação em relação à ocupação original, embora seja palco de inúmeras degradações e antropismos, que serão posteriormente assinalados neste trabalho.

Depreende-se que a área de estudo vem sendo, ao longo dos anos, uma das regiões de maior desenvolvimento econômico do Estado de Pernambuco e para a qual se projetam, para os próximos anos, taxas ainda maiores de crescimento, contrariando sua vocação ambiental.

No interior da área estudada são identificadas, também, áreas de ocupação urbana, portuária e industrial, áreas cultivadas com cana-de-açúcar ou policultura, entre outras, contrastando com áreas de Mata Atlântica e manguezais.

A Figura 1 ilustra a área objeto do presente artigo, evidenciando a sua localização espacial ao longo do litoral sul pernambucano.

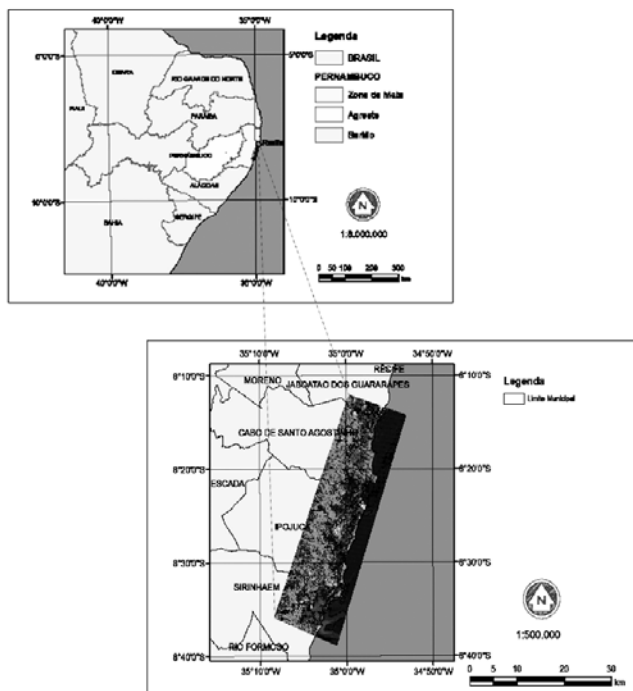


Figura 1 – Localização da área de estudo

3.2 Materiais utilizados

Sensoriamento remoto

- Imagens do satélite LANDSAT-5, órbita-ponto 214-066, de 10 de julho de 1989, sensor TM5 (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros, multiespectral.
- Imagens do satélite LANDSAT-5, órbita-ponto 214-066, de 20 de junho de 1999, sensor TM5 (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros, multiespectral.
- Imagens do satélite LANDSAT-5, órbita-ponto 214-066, de 26 de agosto de 2006, sensor TM5 (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros, multiespectral.

- Modelo digital de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 90 metros.

Trabalho de campo

- Aparelho GPS (*Global Positioning System*) Garmin, modelo eTrex Vista HCx.

- Máquina fotográfica digital Sony, modelo *Cyber Shot*, 7.2 mega pixels.

3.3 Coleta, levantamento de dados e métodos

As imagens dos satélites LANDSAT-5 foram obtidas gratuitamente no *site* do INPE <<http://www.dgi.inpe.br>>, o qual dispõe de uma interface de pesquisa em que se escolhem as melhores cenas para a área de estudo (definida por coordenadas ou nome da localidade) em função do satélite e do sensor desejado, das datas de imagens disponíveis, do percentual de nuvens por quadrante, além da visualização de um *quicklook* (miniatura da imagem) de cada cena. Em seguida, pode-se realizar o *download* a partir da internet, sendo, para isso, necessário cadastrar-se no *site*. Escolheu-se o satélite LANDSAT-5 para realização da análise multitemporal devido à disponibilidade de suas imagens desde meados da década de 1980 até os dias atuais, enquanto o CBERS, satélite sino-brasileiro, cujas imagens também são distribuídas gratuitamente pelo INPE, só foi lançado em outubro de 1999. Além disso, a média resolução espacial de 30 m (trinta metros) do LANDSAT-5 o qualifica para mapeamentos em nível regional, além da existência de diversos trabalhos de referência para a escolha da melhor composição multiespectral no momento da classificação supervisionada do uso do solo. Cabe ressaltar, ainda, para efeito deste trabalho, que todas as passagens do satélite LANDSAT-5, para geração das imagens utilizadas neste estudo, ocorreram na mesma estação do ano (inverno).

Todas as imagens foram, na sequência, processadas no *software* livre SPRING 5.1.7 – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, que é um sistema de informação geográfica desenvolvido e suportado pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE, em versão Windows e Linux, e cujas funcionalidades podem ser descritas como “processamento digital de imagens, manipulação de dados temáticos, modelagem numérica de terreno, armazenagem e consultas de dados cadastrais, modelagem e uso de redes e análises espaciais”. Este *software freeware* está disponível gratuitamente no *site* do INPE (<<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>) para *download*, utilizando-se o mesmo usuário cadastrado no *site* de seleção e buscas de imagens.

Com efeito, ainda no programa SPRING, foi realizada a classificação das imagens. O método utilizado foi a classificação digital supervisionada, “*pixel a pixel*”, por meio do método da máxima verossimilhança, no qual foram identificadas amostras representativas das classes identificáveis de uso e ocupação do solo, as quais foram utilizadas para extrair a resposta espectral, em níveis de cinza, em uma ou mais bandas espectrais.

Para tanto, partindo-se de outros trabalhos semelhantes disponíveis na literatura científica, a exemplo de Boulhosa e Souza Filho (2009), foram selecionadas as bandas 4,5 e 3, na composição espectral RGB¹, para diferenciação entre as classes, permitindo a determinação da classe temática a que pertence cada *pixel* na imagem.

As classes predeterminadas de uso e ocupação do solo para o presente estudo são discriminadas no Quadro 1.

1 RGB é a abreviatura do sistema de cores aditivas formado por vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Em sensoriamento remoto, a combinação de bandas espectrais em componentes RGB é utilizada para obter, por exemplo, informações do solo pela interpretação das cores que são produzidas na tela.

Classe temática	Descrição
Água	Engloba rios, lagos, lagoas, reservatórios, parte do oceano
Nuvem	Áreas arredondadas e homogêneas, de coloração branca
Sombra de nuvem	Áreas escuras nas imagens ocasionadas pelas nuvens
Culturas agrícolas	Engloba todas as culturas agrícolas existentes na área
Campos antrópicos	Engloba todas as intervenções antrópicas
Manguezal	Engloba o ecossistema de manguezal
Mata	Engloba florestas primária, secundária e capoeira
Herbáceas	Engloba vegetação rasteira e pequenos arbustos
Solo exposto	Engloba solos descobertos e manchas urbanas

Quadro 1 – Classes de uso e ocupação do solo.

Foram realizadas visitas de campo para validação da classificação supervisionada mais recente, relativamente à imagem LANDSAT de 2006. Efetuou-se, ainda, registro fotográfico dos locais visitados e as coordenadas geográficas foram coletadas por meio do equipamento GPS Garmim, modelo eTrex Vista HCx.

Ao final do trabalho de classificação, foram produzidas novas imagens constituídas por um novo mosaico de células, ou seja, um *layer* temático da imagem original, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2: *Layers*–resultantes da classificação supervisionada para os anos de 1989, 1999 e 2006.

O resultado dessas análises constitui-se como sendo o mapeamento do conjunto das classes temáticas existentes na área de estudo, para os anos de 1989, 1999 e 2006.

4 Resultados e discussões

4.1 Análise multitemporal dos resultados do uso e da ocupação do solo

Os resultados obtidos na identificação do uso e da ocupação do solo caracterizam as alterações sofridas na área de estudo no decorrer de 17 anos.

A Tabela 1 apresenta o resultado obtido com a classificação digital supervisionada realizada no *software* SPRING, em que foram identificadas e quantificadas as classes de cobertura definidas como manguezal, água, campos antrópicos, culturas agrícolas, herbáceas, mata, nuvem, sombra de nuvem e solo exposto para os anos de 1989, 1999 e 2006.

	Classe Temática					
	1989		1999		2006	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
- Manguezal	71,77	11,41	46,58	7,65	53,88	8,82
- Água	211,44	33,62	191,48	31,43	185,90	30,44
- Campos antrópicos	151,84	24,14	200,28	32,88	184,36	30,19
- Culturas agrícolas	63,73	10,13	39,91	6,55	51,85	8,49
- Herbáceas	31,33	4,98	17,48	2,87	15,31	2,51
- Mata	16,68	2,65	18,22	2,99	26,49	4,34
- Nuvem	9,86	1,57	16,95	2,78	9,21	1,51
- Sombra de nuvem	2,51	0,40	17,93	2,94	4,75	0,78
- Solo exposto	69,78	11,09	60,36	9,91	78,90	12,92
TOTAL	628,94	100,00	609,20	100,00	610,65	100,00

Tabela 1—Identificação e quantificação das classes temáticas de uso do solo.

O Gráfico 1 representa a evolução temporal das classes temáticas utilizadas neste artigo, no decorrer de 17 anos, obtidas mediante classificação digital.

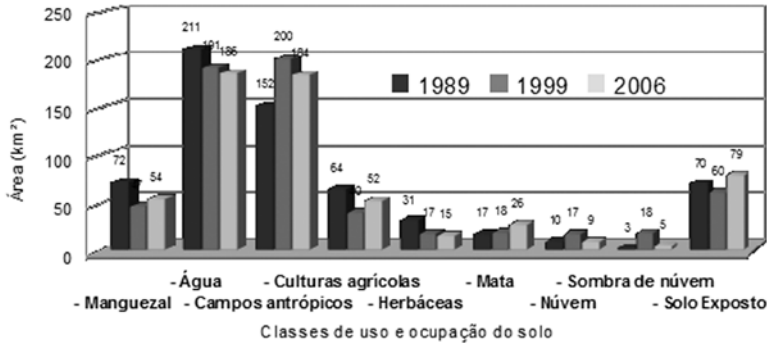


Gráfico 1: Evolução temporal das classes temáticas.

Os resultados dos dados numéricos apresentados podem ser constatados visualmente pelas classificações supervisionadas das imagens do satélite LANDSAT-5 apresentadas no estudo.

Ao analisar os resultados obtidos pela metodologia de classificação supervisionada utilizada, verificou-se a existência de áreas classificadas como manguezal em locais incompatíveis e não correspondentes com as reais condições para a ocorrência desses ecossistemas, a exemplo de manguezais classificados em áreas de morros com cotas altimétricas acima de 70 m (setenta metros). Mais especificamente, constatou-se nas imagens um padrão de ocorrência desses manguezais na face sudoeste desses morros, sendo este o mesmo padrão da posição da sombra das nuvens, o que sugere que tal ocorrência se dá em função da sombra originada pelo relevo.

Dessa forma, tornou-se necessária a inserção de um filtro em função do relevo para o correto ajuste da classificação temática. Optou-se pela utilização de um filtro com base no relevo gerado pela missão SRTM, que foi obtido no *site* da EMBRAPA (<<http://www.relevobr.cnpemembrapa.br/download/pe/pe.htm>>).

Assim, conforme apresentado na Figura 3, novas áreas de manguezal foram estimadas para a análise multitemporal. Considerou-se, para efeito da utilização do filtro com base no relevo, o limite máximo de 30 m (trinta metros) para a ocorrência de manguezais, tendo em vista que não se verificou nas visitas de campo a ocorrência desse ecossistema acima desta cota altimétrica.

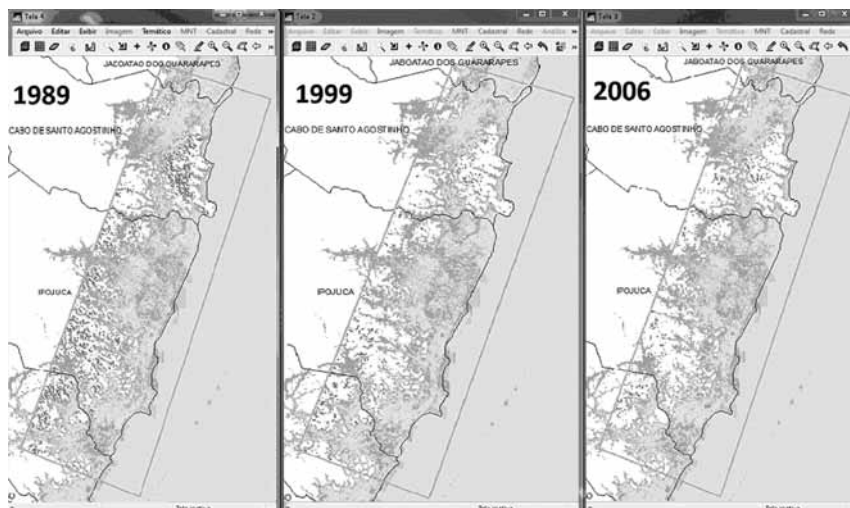


Figura 3 – Máscara de relevo baseada em dados do SRTM.

Dessa forma, foi possível estimar com precisão: a) a parte correspondente ao filtro pelo relevo em que permaneceram áreas de manguezais; b) a parte do filtro onde áreas de manguezais foram excluídas; c) os manguezais suprimidos pelo filtro; d) os manguezais que permaneceram após a aplicação do filtro pelo relevo.

4.2 Análise das áreas de manguezal após utilização do filtro do relevo

A Tabela 2 apresenta o resultado obtido com a classificação digital supervisionada após a realização do filtro em função do relevo, em que foi identificada e quantificada a classe de cobertura definida

como manguezal, objeto principal deste artigo, para os anos de 1989 x 1999; 1989 x 2006 e 1999 x 2006, respectivamente.

O novo cenário para as áreas de manguezal correspondentes aos anos de 1989, 1999 e 2006 é apresentado na Tabela 2 e no Gráfico 2.

Área (km ²)				
1989	1999	2006	Var (km ²)	Var (%)
58,59	37,83	-	-20,76	-35,43
58,59	-	42,66	-15,93	-27,19
-	37,83	42,66	4,89	12,77

Tabela 2 – Variação final do manguezal para os anos de 1989, 1999 e 2006.

O Gráfico 2 representa a evolução temporal da classe temática de manguezal, objeto deste trabalho, no decorrer de 17 anos, após a utilização do filtro em função do relevo.

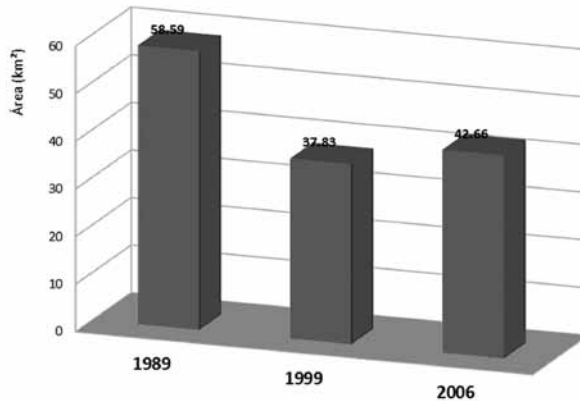


Gráfico 2 – Evolução temporal do manguezal para os anos de 1989, 1999 e 2006.

Depreende-se, pela análise dos dados obtidos na Tabela 2 e evidenciados no Gráfico 2, que, na evolução do uso e da ocupação do solo para os anos de 1989 a 2006, horizonte de 17 anos, houve um decréscimo da ordem de 27,19% das áreas de manguezal. Constatou-se,

também, que, entre os anos de 1989 e 1999, houve um decréscimo da ordem de 35,43% e, na sequência, entre os anos de 1999 e 2006, houve um acréscimo da ordem de 12,77% nessas mesmas áreas.

As reduções desse ecossistema estão relacionadas à implantação de aterros e ocupações urbanas, empreendimentos e atividades industriais e portuárias, intervenções e cultivos agrícolas, loteamentos e especulação imobiliária, entre outros eventos que, juntos, justificam essas mudanças. De outro lado, o acréscimo verificado entre os anos de 1999 e 2006 está relacionado, muito provavelmente, às atividades de fiscalização e proteção ambiental desses ecossistemas, promovidas pelos órgãos governamentais.

Para análise da evolução temporal das áreas de manguezais, objeto deste artigo, evidenciadas nas imagens LANDSAT-5, fez-se o cruzamento das áreas retiradas dos mapas de uso e ocupação do solo em três cenários multitemporais distintos, compreendendo cruzamentos entre os anos 1989 x 1999; 1989 x 2006 e 1999 x 2006.

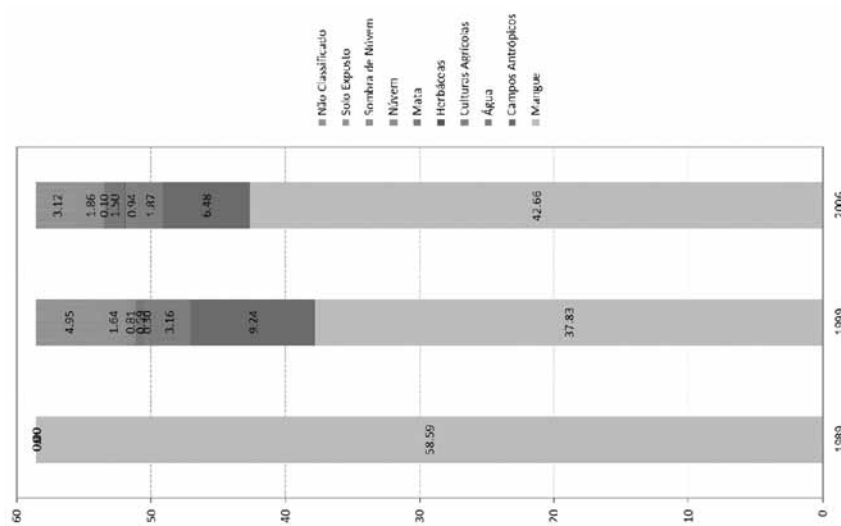


Gráfico 3 – Uso em 1999 e 2006 de áreas ocupadas por manguezal em 1989.

O Gráfico 3 ilustra esquematicamente a evolução do ecossistema de manguezal entre os anos de 1989 e 2006 e representa as classes de cobertura que passaram a ocupar, em 1999 e 2006, antigas áreas preenchidas por manguezais, em 1989.

Por último, cabe ressaltar que, dada a rapidez das mudanças ambientais ocorrentes na zona costeira, é fundamental a atualização permanente dos resultados por meio de imagens mais atuais.

5 Conclusões

O presente estudo possibilitou as seguintes conclusões, a saber:

- Foram mapeadas as mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo da área de estudo, situada no litoral sul do Estado de Pernambuco, com a utilização de imagens do satélite LANDSAT-5 para os anos de 1989, 1999 e 2006.

- Os resultados desse artigo, com a utilização de imagens de média resolução, representam de maneira adequada a evolução temporal e espacial do uso e da ocupação do solo e apresentam o mapeamento das áreas de cobertura vegetal de manguezais, bem como a localização da degradação desse ecossistema, em cada uma das datas das imagens selecionadas (séries históricas de mapas).

- Foi realizada uma comparação sistemática entre os valores obtidos para as áreas de manguezais estudadas, em que se conclui que, na evolução do uso e da ocupação do solo para os anos de 1989 a 2006, horizonte de 17 anos, houve um decréscimo da ordem de 27,19% das áreas de manguezal. Constatou-se, também, que, entre os anos de 1989 e 1999, houve um decréscimo da ordem de 35,43% e, na sequência, entre os anos de 1999 e 2006, houve um acréscimo da ordem de 12,77% nessas mesmas áreas.

- O *software* SPRING utilizado para a elaboração deste trabalho é de fácil aquisição (*download* na Internet) e manuseio. Constatou-se que ele se mostrou adequado e eficiente para a aplicação da metodologia desenvolvida e para a geração de mapas temáticos, mostrando ser uma ferramenta (SIG) eficiente para a manipulação de imagens matriciais.

- Espera-se que a metodologia empregada neste artigo, por meio da utilização de imagens de sensoriamento remoto e *software* de geoprocessamento livres, disponibilizados para *download* via Internet e sem custos para os usuários, possibilite que órgãos e instituições públicas possam vir a utilizá-los em seus planejamentos e tomadas de decisão, tendo em vista a gestão sustentável e o manejo adequado dos recursos naturais.

Referências

BARROS, H. M.; ESKINAZI-LEÇA, E. Introdução. In: BARROS, H. M.; ESKINAZI-LEÇA, E.; MACÊDO, S. J.; LIMA, T. *Gerenciamento participativo de estuários e manguezais*. Recife: UFPE, 2000. 252 p.

BOULHOSA, M. B. M.; SOUZA FILHO, P. W. M. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, v. 27 (supl.1), p. 23-37, 2009.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Geoprocessamento: teoria e aplicações. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 17 ago. 2010.

FIDEM. *Proteção das áreas estuarinas*. Recife, 1987. 31 p.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

LACERDA, L. D. Manguezais, ecossistemas-chave sob ameaça. Mudanças climáticas e desafios ambientais: oceanos. *Scientific American*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 76-82, 2009.

LACERDA, L. D. et al. Manguezais do nordeste e mudanças ambientais. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 39, n. 229, p. 24-29, ago. 2006.

SANTOS, D. A. *O zooplâncton como indicador da qualidade ambiental do Parque dos Manguezais de Pernambuco*. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal – ecossistema entre a terra e o mar. *Caribbean Ecological Research*, São Paulo, 1995.

SERAFINI, L. Z. Os manguezais, seu regime jurídico e sua proteção-sócio-ambiental. *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, Revista dos Tribunais, ano 13, n. 51, p. 110-140, set. 2008.