

ENSAIOS LABORATORIAIS EM SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT DE PARTE DO LITORAL SANTISTA COMO REQUISITO AOS MAPEAMENTOS REGIONAIS DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

GILBERTO PESSANHA RIBEIRO 1

UBIRATAN DE SOUZA DIAS JUNIOR 2

MARCIA CRISTINA DE SOUZA MATOS CARNEIRO 3

1 Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP
Instituto do Mar, Departamento de Ciências do Mar, Santos, SP

2 Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Instituto de Saúde e Sociedade, Serviço Social, Santos, SP

3 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

Recife, PE

gilberto.unifesp@gmail.com, ubiratan.dias.junior@gmail.com, carmarcia@gmail.com

RESUMO – De demandas de mapeamento cartográfico temático no contexto do projeto de pesquisa "Aplicação de geotecnologias na orientação do uso da Terra com base nos Impactos das mudanças climáticas globais: sub-bacias hidrográficas litorâneas do estado de São Paulo e do estado do Rio de Janeiro", liderada pelo Faculdade de Engenharia da UERJ e da colaboração eficaz com o Instituto Geológico do Estado de São Paulo, financiado pela FAPESP e FAPERJ, mapas foram produzidos de uso da Terra e cobertura vegetal, tanto com uso da banda pancromática como multiespectrais do sistema THEOS. Trata-se do sensor acoplado ao satélite tailandês THEOS (Thailand Earth Observation Satellite), que é o primeiro equipamento para observação da Terra naquele país, lançado em 1º de Outubro de 2008 por GISTDA - Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. A fim de realizar experimentos de laboratório com imagens desse sistema, optou-se por usá-lo em mapeamento dos municípios costeiros paulistas Caraguatatuba e Ubatuba, e o mesmo foi feito com os municípios fluminenses de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba. Os resultados deste mapeamento estão disponíveis em www.georeferencial.com.br e são aqui apresentados. Foram empregadas técnicas de processamento digital de imagens com uso dos sistemas SPRING e ENVI, e as escalas cartográficas finais 1/125.000 e 1/10.000, com bandas multi e pan, respectivamente. Serão destacados métodos de segmentação e de classificação supervisionada, com o objetivo de identificação de padrões de uso da Terra e cobertura vegetal. Resultados posteriores serão apresentados em relação ao mapeamento das planícies costeiras em face da explosão populacional e imobiliária de grande valor patrimonial nas zonas costeiras.

ABSTRACT - Demands of thematic cartographic mapping in the context of the research project "Application of geotechnology in guiding the use of land based on the impacts of global climate change: coastal sub-basins of the state of São Paulo and the state of Rio de Janeiro" led by the Faculty of Engineering UERJ and effective with the Geological Institute of the State of São Paulo collaboration, funded by FAPESP and FAPERJ agencies, maps were produced using the earth and vegetation cover, both using the panchromatic band and the multispectral THEOS system. It is coupled to the Thailand THEOS satellite sensor (Thailand Earth Observation Satellite), which is the first equipment for earth observation in that country, launched on October 1st 2008 by GISTDA - Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. In order to carry out laboratory experiments with images of this system, we chose to use it in mapping coastal municipalities of São Paulo Caraguatatuba and Ubatuba, and the same was done with the municipalities of Rio de Janeiro Paraty, Angra dos Reis and Mangaratiba. The results of this mapping are available in www.georeferencial.com.br and are presented here. Techniques of digital image processing using the SPRING and ENVI systems, and final cartographic scales 1/125 000 and 1/10 000, with multi and pan, respectively bands were employed. It will highlight methods of segmentation and supervised classification, with the goal of identifying land use patterns and vegetation cover. Further results will be presented in relation to the mapping of the coastal plains in the face of population explosion and property of great heritage value in coastal areas.

1 INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento do projeto de pesquisa “Aplicação de geotecnologias na orientação do uso da Terra com base nos impactos das mudanças climáticas globais: sub-bacias hidrográficas litorâneas do Estado de São Paulo e do Estado do Rio de Janeiro”, financiando pelas agências de fomento FAPERJ e FAPESP (Processo FAPERJ/FAPESP ES-26/111.619/2010 – Edital nº 23/2010), foram gerados cartas e mapas temáticos, além de cartas-imagem que cobrem porção dos municípios paulistas de Ubatuba e Caraguatatuba. Tal projeto também se dedicou a mapeamento em municípios fluminenses de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba. Resultados deste esforço podem ser acessados em www.georeferencial.com.br.

O mapeamento teve origem em atividades de aquisição e validação de imagens do sistema sensor THEOS - Thailand Earth Observation Satellite, hoje tecnologia denominada Thaichote, por meio de imagens multiespectrais (15m – resolução espacial) e pancromática (2m – resolução espacial), onde os produtos tiveram escalas fixadas de 1/250.000 para uma visão geral das áreas envolvidas, 1/50.000 em mapeamento regional e 1/10.000 na tentativa de permitir representação de feições geográficas com mais detalhe. Os beneficiários destes documentos cartográficos, inicialmente foram marcados pela sociedade organizada local, mas com o tempo, outros usuários despertaram interesse neles, uma vez que não se tinha informações cartográficas atualizadas desses municípios, que pudessem servir de suporte a gestores e empreendedores, essencialmente em aplicações regionais.

Parte expressiva das atividades aqui a serem relatadas, no que se refere ao processamento de imagens se deu com a colaboração da empresa Globalgeo Geotecnologias. As fases e etapas mais importantes vencidas durante os processos aqui serão descritas de forma sucinta, assim como as dificuldades e inconsistências encontradas. Desafios na classificação semissupervisionada e geração dos mapas de uso da Terra e cobertura vegetal serão comentados.

2 METODOLOGIA, MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudos está apresentada na Figura a seguir.

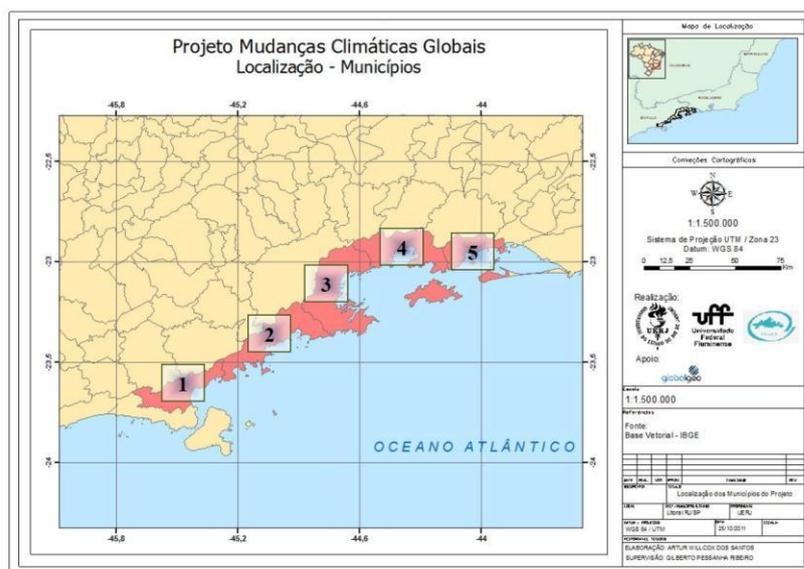


Figura 1 – Localização dos mapeamentos executados nos municípios de Caraguatatuba [1], Ubatuba [2], Paraty [3], Angra dos Reis [4] e Mangaratiba [5].

O desenvolvimento do trabalho se deu conforme as seguintes etapas principais:

[1ª]- Seleção de imagens e aplicação de correções (contraste/realce);

[2ª]- Determinação do padrões de uso da Terra e cobertura vegetal, para a escalas de mapeamento;

[3ª]- Escolha do sistema ENVI para o processamento digital de imagens;

[4ª]- Validação do georreferenciamento de imagens a partir de bases cartográficas vetoriais existentes na escala 1/25.000 (municípios o estado do Rio de Janeiro) e de mosaico de ortofotos dos municípios de Ubatuba e Caraguatatuba/SP;

[5ª]- Processamento de imagens: segmentação por pixel, aquisição de amostras de padrões de uso da Terra e cobertura vegetal e classificação semissupervisionada;

[6ª]- Geração de cartas-imagens e de mapas temáticos.

A segmentação das imagens PAN, com base nos padrões de cinza e a classificação semissupervisionada¹, foi executada pixel a pixel, com uso de filtro de mediana 5 x 5 pixels para geração dos polígonos finais, tendo como critério as classes temáticas consolidadas na metodologia do mapeamento formal já executado pelo município do Rio de Janeiro, sob a responsabilidade do seu Instituto Pereira Passos (IPP) e pela UERJ (Souza, 2009). O parâmetro da classificação supervisionada utilizado no software ENVI foi o maximum likelihood, pois este foi o que proporcionou melhores resultados. O mapeamento inédito aqui descrito utilizou-se do sistema geodésico SIRGAS_2000, e os documentos cartográficos gerados apresentam o sistema de coordenadas UTM, fusos 22° S e 23° S. Bases vetoriais do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) disponíveis foram empregadas para verificação e controle de georreferenciamentos. Contudo, são listadas a seguir as etapas vencidas na fase inicial do referido projeto: (a) Segmentação e classificação preliminar supervisionada de imagens THEOS PAN; (b) Classificação de Uso da Terra e Cobertura Vegetal a partir de imagens THEOS PAN; (c) Extração de curvas de nível (equidistância vertical de 20 m) a partir de imagens ASTER (DEM); (d) Extração de drenagem a partir de imagens ASTER (DEM); e (e) Extração de linha de costa na escala de 1/2.000 a partir das imagens THEOS.

Dois conjuntos de dados foram gerados: o primeiro contém as imagens PAN-SHARPENED, resultado da fusão de bandas multiespectrais de 15 m de resolução espacial com a banda PAN de 2 m; e o segundo possui todos os dados gerados e resgatados para este projeto organizados para compartilhamento e backup. Apoio houve em dados vetoriais ambientais disponibilizados pelo INEA e pelo IBGE para o caso dos mapeamentos dos municípios do estado do Rio de Janeiro. Na sequência foram extraídas as curvas de nível, drenagem, bacias hidrográficas, e o próprio DEM. Estes dados foram gerados a partir do DEM do sensor ASTER, de origem japonesa, em convênio com a NASA. Trata-se de um DEM até então pouco utilizado, mas que possui um ganho bem interessante em resolução espacial perante o SRTM, que é comumente utilizado pela comunidade de Geociências (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm>). O ASTER possui uma resolução de 30 m, ao contrário dos 90 m do SRTM. Na geração destes últimos dados houve suporte do software ArcGIS, exceto a extração das curvas de nível (equidistância vertical de 20m) que foram executadas no ambiente do sistema GlobalMapper, a partir de malha amostral.

2.1 Imagens LANDSAT e bases cartográficas vetoriais

O satélite tailandês Thaichote é o primeiro equipamento de observação da Terra, deste país, e foi lançado em 1º de outubro de 2008 pela GISTDA – *Geo-Informatics and Space Technology Development Agency*. O Thaichote possui um sensor pancromático com 2 metros de resolução espacial e um sensor multiespectral com 15 metros de resolução espacial, este último, caracteriza-se, também, por possuir além das bandas RGB, a banda infravermelha próxima (IR).

Tabela 1 – Imagens THEOS (*Thailand Earth Observation Satellite*).

Instituição Responsável	GISTDA – Geo-Informatics and Space Technology Development Agency
País/Região	Tailândia
Satélite	THEOS
Local de Lançamento	Dombarovski
Veículo Lançador	Dnepr -1
Situação Atual	Ativo
Órbita	Heliossíncrona
Altitude	822 km
Inclinação	98,7°
Tempo de Duração da Órbita	101,4 min
Horário de Passagem	10:00 A.M. (Equador)
Período de Revisita	26 dias
Tempo de Vida Projetado	5 anos
Instrumentos Sensores	1 PAN e 1 MS CCD

Tabela 2 – Propriedades gerais das imagens THEOS pancromáticas.

Imagens	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Ângulo de Visada	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
---------	-------------------	---------------------	------------------	--------------------	------------------------	---------------

¹ Classificação semissupervisionada: processo de seleção de amostras de áreas para atribuição de padrões de uso da Terra a partir da análise de cor, textura e forma dos polígonos, com parcial conhecimento de campo, objetivando representação com alta qualidade de extração de informações, para fins de mapeamentos temáticos (adaptado de Meneses *et al.*, 2012).

Pancromático	Pancromática	0.45 – 0.90 μ m	Até 50° (para pedidos até 30°)	2 m	8 bits (entre 12 bits)	22 km x 22 km
--------------	--------------	---------------------	-----------------------------------	-----	------------------------	---------------

Tabela 3 – Propriedades gerais das imagens THEOS multiespectrais.

Modo	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Ângulo de Visada	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
Multiespectral	Azul	0.45 – 0.52 μ m	Até 50° (para pedidos até 30°)	15 m	8 bits (entre 12 bits)	90 km x 90 km
	Verde	0.53 – 0.60 μ m				
	Vermelho	0.62 – 0.69 μ m				
	Infravermelho próximo	0.77 – 0.90 μ m				

Tabela 4 – Propriedades das imagens THEOS pansharpening.

Canais/ Bandas Espectrais	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Ângulo de Visada	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
Pansharpening	Pancromática	0.45 – 0.90 μ m	Até 50° (Para pedidos até 30°)	2 m	8 bits (entre 12 bits)	22 km x 22 km
	Azul	0.45 – 0.52 μ m				
	Verde	0.53 – 0.60 μ m				
	Vermelho	0.62 – 0.69 μ m				
	Infravermelho próximo	0.77 – 0.90 μ m				

As imagens multiespectrais THEOS foram submetidas à avaliação de condições de geometria e de conteúdo das bandas. A seguir na Figura 2 pode-se observar as áreas cobertas por elas (aproximadamente 26.368 km²) dos municípios de interesse.

Tabela 5 - Áreas (km²) estimadas das imagens THEOS multiespectrais.

Identificação	Área na Imagem (km ²)	Municípios cobertos pelas cenas
Cena 1	9.005,55	Caraguatatuba e Ubatuba
Cena 2	8.750,72	Ubatuba, Paraty e Angra dos Reis
Cena 3	8.612,87	Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba
Total	26.368,94	Caraguatatuba, Ubatuba, Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba

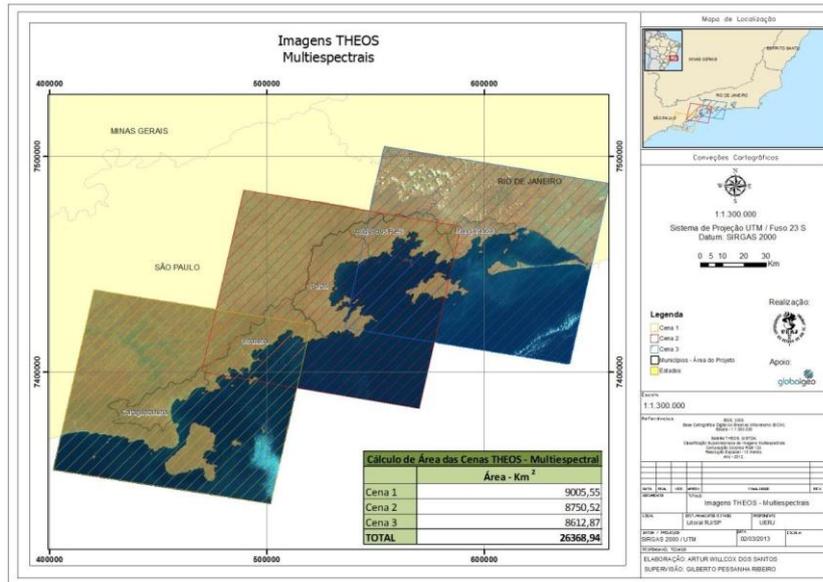


Figura 2 – Localização das cenas THEOS, bandas multiespectrais.

Da mesma forma as imagens pancromáticas THEOS foram submetidas a avaliação de condições de geometria e de conteúdo das bandas. A seguir na Figura 3 pode-se observar as áreas cobertas por elas (aproximadamente 1.721 km²).

Tabela 6 - Áreas (km²) estimadas das imagens THEOS pancromáticas.

Identificação	Área na Imagem (km ²)	Municípios cobertos parcialmente pelas cenas
Cena 1	579,04	Caraguatatuba
Cena 2	549,77	Ubatuba
Cena 3	592,27	Paraty
Cena 4	632,29	Angra dos Reis
Cena 5	618,81	Mangaratiba
Total	1.721,08	Caraguatatuba, Ubatuba, Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba

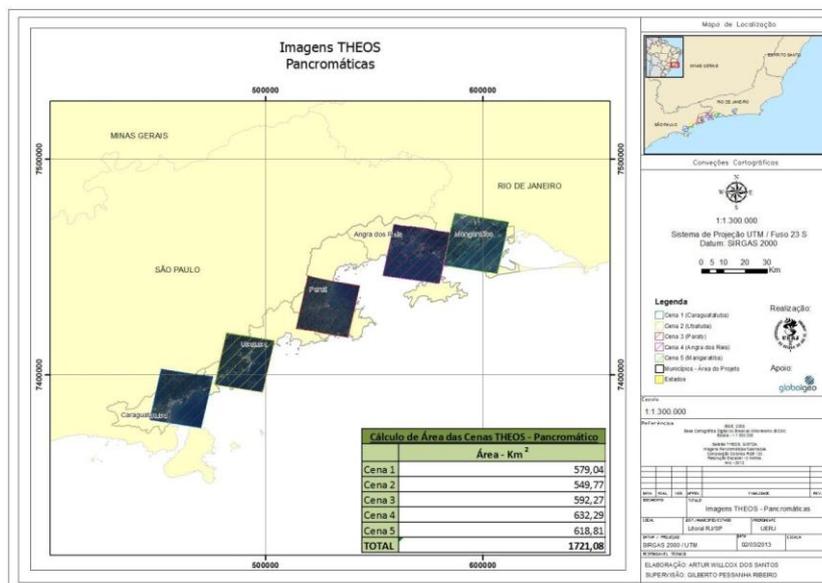


Figura 3 – Localização das cenas THEOS, bandas pancromáticas.

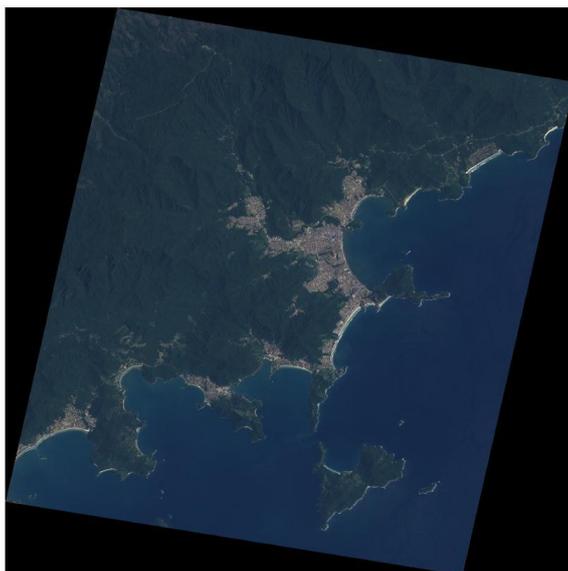


Figura 3a – Cena THEOS, bandas pancromáticas, Ubatuba/SP.



Figura 3b – Cena THEOS, bandas pancromáticas, Caraguatatuba/SP.

2.2 Sistemas computacionais

Os sistemas computacionais SPRING 5.2.1 e ENVI 4.7 foram empregados no processamento das imagens THEOS, com exploração de funcionalidades na etapa de segmentação, considerada uma das mais críticas, com testes e ensaios laboratoriais na busca de melhor solução para geração dos contornos dos objetos geográficos. Esse marcou o maior desafio neste projeto, com produção expressiva de mapas temáticos, sem completo apoio de trabalhos de campo. No presente artigo esforços foram concentrados em uso de bases vetoriais disponíveis desses municípios. O mapeamento envolvendo a produção de cartas-imagem e mapas temáticos se deu a partir das imagens THEOS, com o objetivo de cobrir as zonas litorâneas dos municípios paulistas, caracterizadas por expressivo crescimento populacional acompanhado por explosão imobiliária. A seguir são apresentados diagramas do arcabouço metodológico e do SIG desenvolvido.

2.3 Arcabouço metodológico

Os mapeamentos, precedentes dos processamentos de imagens, seguiram o seguinte arcabouço metodológico, numa perspectiva de classificação semissupervisionada.



Figura 5 – Arcabouço metodológico.

Foi desenvolvido um SIG que desse conta da gerência dos dados geográficos do projeto. A partir do diagrama a seguir é possível observar fases e etapas da implementação do aplicativo, na perspectiva dos serviços básicos de consulta e atualização de um bando de dados espaciais. Imagens de satélites, fotografias aéreas e bases cartográficas vetoriais foram incorporados na coleção das bases de dados que, por sua vez, caracterizaram as condições de análise e de validação dos documentos cartográficos gerados.

Com o propósito de manutenção do sistema, foram empregadas técnicas de engenharia de software, com relação ao uso - características operacionais: correção, confiabilidade, eficiência, integridade e usabilidade, para garantia de qualidade de sistemas computacionais especializados (Rocha *et al.*, 2001).

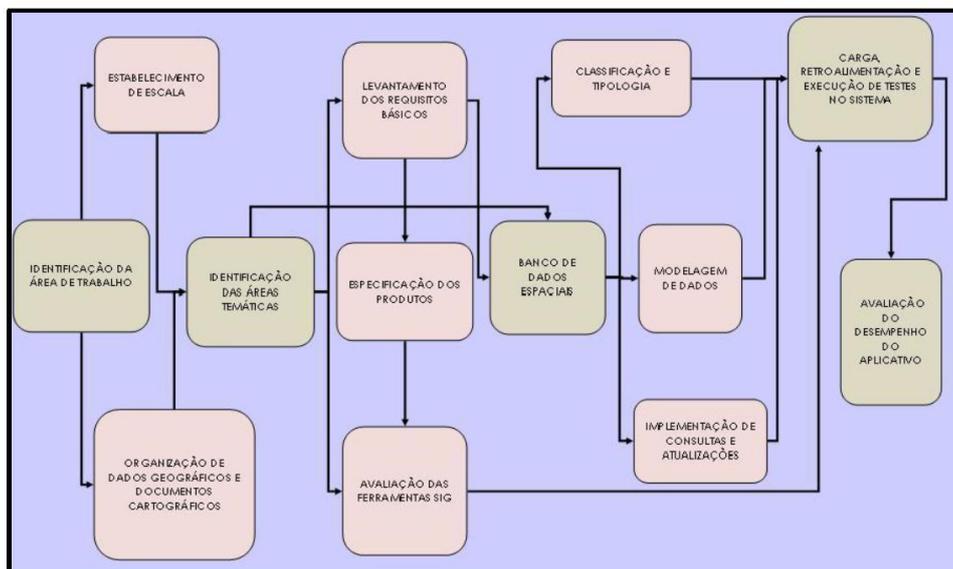


Figura 6 – Diagrama geral de etapas e fases do aplicativo no ambiente SIG.

3 RESULTADOS

Foram gerados mapas indicativos do uso da Terra e cobertura vegetal (Anderson et al.,1979) (Jacques e Sinzato, 2001), numa visão estimada na escala 1/125.000, tendo como base imagens de satélites do sistema orbital THEOS (Thailand Earth Observation Satellite) que foi lançado em 1º de outubro de 2008 pela GISTDA – Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. Com base nas bandas pancromáticas (PAN) fusionadas, com 2 m de

resolução espacial, testes e ensaios laboratoriais foram executados com o sistema SPRING inicialmente, e, em caráter definitivo na seqüência, com o sistema computacional ENVI. As áreas urbanas mapeadas foram identificadas e destacadas como associadas aos seguintes municípios: [1]- Caraguatatuba; [2]- Ubatuba; [3]- Paraty; [4]- Angra dos Reis; e [5]- Mangaratiba (Figura 1). Mapeamentos já executados com base em imagens de satélites serviram de referência para suporte no arcabouço metodológico deste artigo, a saber: Cruz (2008), França e Soares (2009), Gelelete (2008), Magalhães et al. (2008), Neto (2007), Oliveira (2010), Pereira (2008) e Pinheiro (2008).

Na Figura a seguir é apresentada a articulação de folhas que compuseram a coleção de mapas temáticos de uso da Terra e cobertura vegetal e cartas-imagem dos municípios envolvidos.

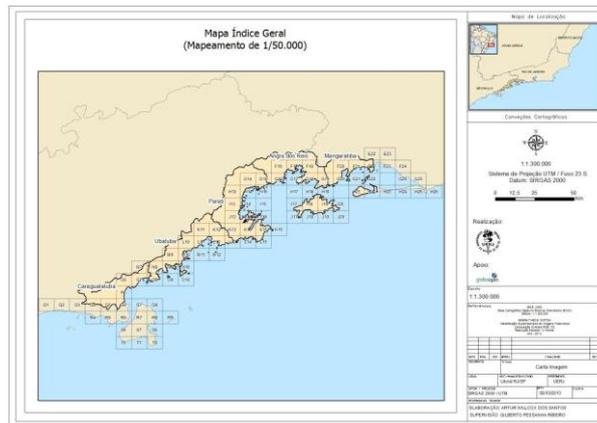


Figura 7 – Articulação de folhas do mapeamento executado (escala 1/50.000).

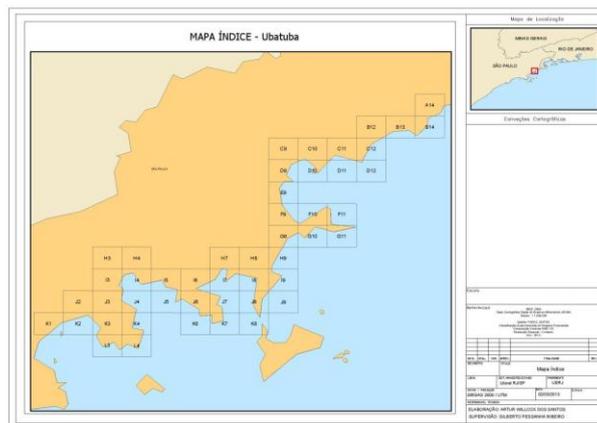


Figura 8 – Articulação das folhas do mapeamento em Ubatuba/SP (escala 1/10.000).

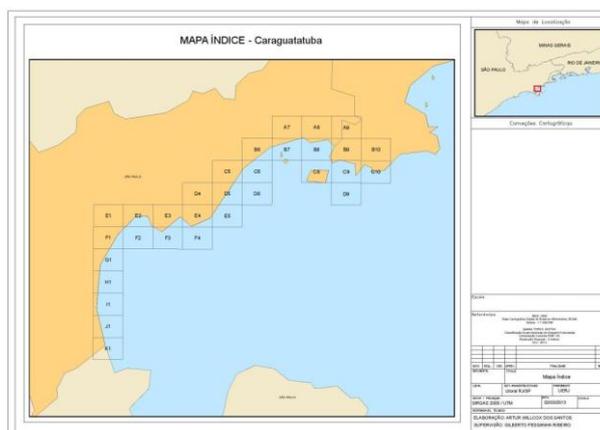


Figura 9 – Articulação das folhas do mapeamento em Caraguatatuba/SP (escala 1/10.000).

Através do processamento das imagens (segmentação e classificação semissupervisionada), as seguintes áreas foram cobertas (Figuras 10 e 11). Na Figura 10 a seguir observa-se as áreas no município de Ubatuba-SP, e na seguinte Figura 11 as áreas no município de Caraguatatuba- SP. As manchas urbanas estão presentes na cor vermelha e vegetação em verde.

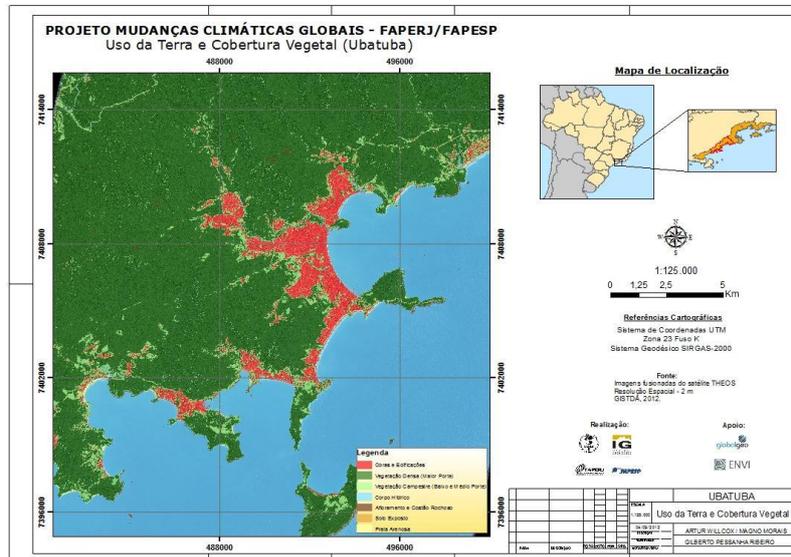


Figura 10 – Visão geral do mapeamento executado no município de Ubatuba – SP (escala 1/125.000).

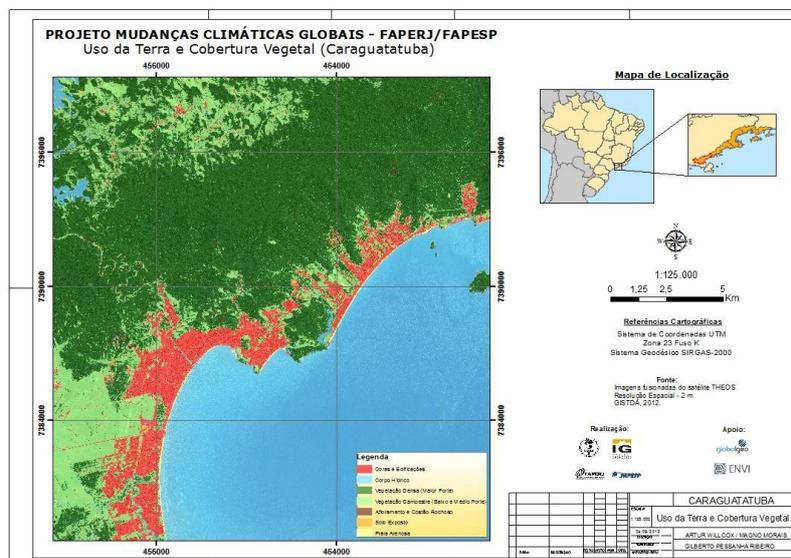


Figura 11 - Visão geral do mapeamento executado no município de Caraguatatuba – SP (escala 1/125.000).

A seguir são apresentados documentos cartográficos como exemplo da produção do referido projeto. Trata-se de cartas-imagem e mapas temáticos de uso da Terra e cobertura vegetal, na escala 1/50.000 (Figuras 12 e 13) e na escala 1/10.00 (Figuras 14 e 15). São recortes espaciais de zonas litorâneas aqui escolhidas para discussão sobre a perspectiva de qualidade geométrica e de aspectos qualitativos relativos aos temas de interesse apresentados na legenda: área urbana, vegetação densa, área florestada, vegetação campestre/pastagem, corpo hídrico, praia arenosa, solo exposto, afloramento e costão rochoso. Esses padrões de uso da Terra e cobertura vegetal foram adaptados a partir de experiência de mapeamentos executados no Rio de Janeiro (www.labcartografia.uerj.br).

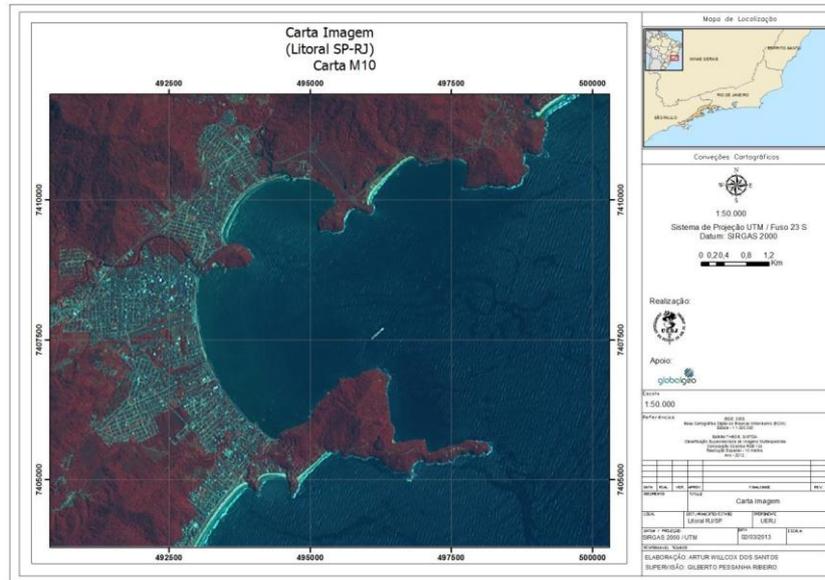


Figura 12 – Carta-imagem na escala 1/50.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

Aspectos de forma, cor e textura podem ser observados na Figura anterior, na composição colorida apresentada RGB421, onde privilegiou o infravermelho para destaque da vegetação em falsa cor.

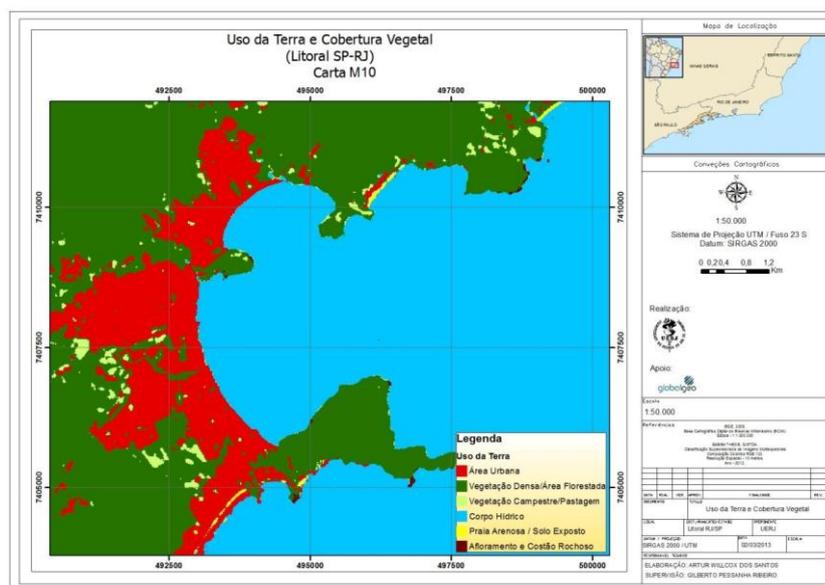


Figura 13 – Mapa de uso da Terra e cobertura vegetal na escala 1/50.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

A Figura anterior mostra, em escala regional 1/50.000, resultado experimental a partir de segmentação e de classificação semissupervisionada por pixel executada no sistema computacional ENVI. Resolver definições geométricas de contornos e confusão de temas foram os maiores desafios nesta etapa. Destaque é feito ao processo de escolha de melhor geometria para os contornos, diante das incertezas que as imagens apresentaram e em respeito à solução de mapeamento dentro das especificações técnicas exigidas.



Figura 14 – Carta-imagem na escala 1/50.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

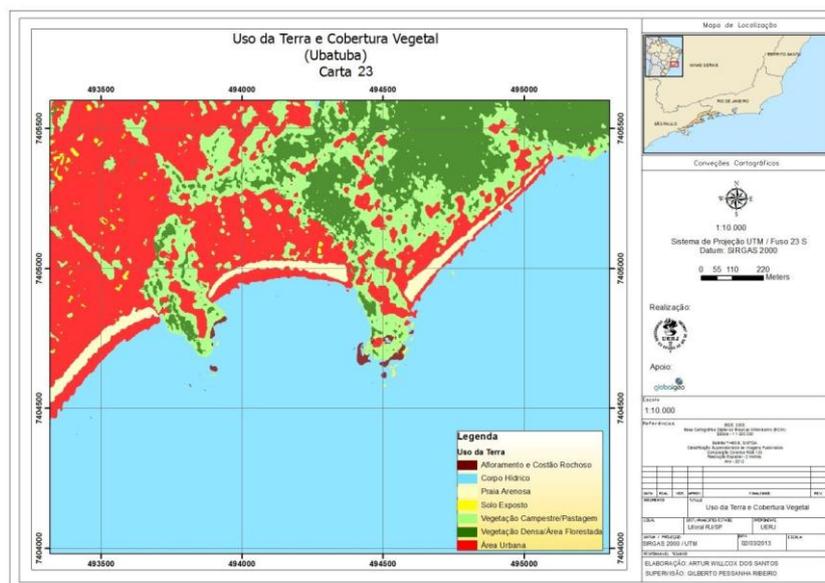


Figura 15 - Mapa de uso da Terra e cobertura vegetal na escala 1/50.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

Na tentativa de executar o mapeamento local, não cadastral, na escala 1/10.000, com base nas bandas pancromáticas observou-se que, com os critérios no contexto do sistema computacional ENVI (segmentação e classificação semissupervisionada) não foram atendidos. Confusões de temas surgiram, como, por exemplo:

“Praia arenosa” X “Solo exposto” “Área urbana” X “Praia arenosa”

O grande desafio dos mapeamentos temáticos, a partir das imagens de satélites THEOS aqui desenvolvidos, está intimamente ligado ao enfrentamento e superação automática na busca de garantia de atribuição correta dos temas em classes de objetos geométricos, esses como resultados de critérios da segmentação. Ao mesmo tempo sabe-se que inconsistências surgem e devem ser resolvidas. Conflitos na atribuição de temas houve e aqui o propósito é apresentá-los para dar força a numa discussão técnica mais aprofundada. Na Figura a seguir pode ser verificada inconsistência, a título de exemplo, na zona de praia arenosa, que foi erroneamente atribuída como área urbana. Basta comparar visualmente com os aspectos originais da carta-imagem equivalente.



Figura 16 – Carta-imagem na escala 1/10.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

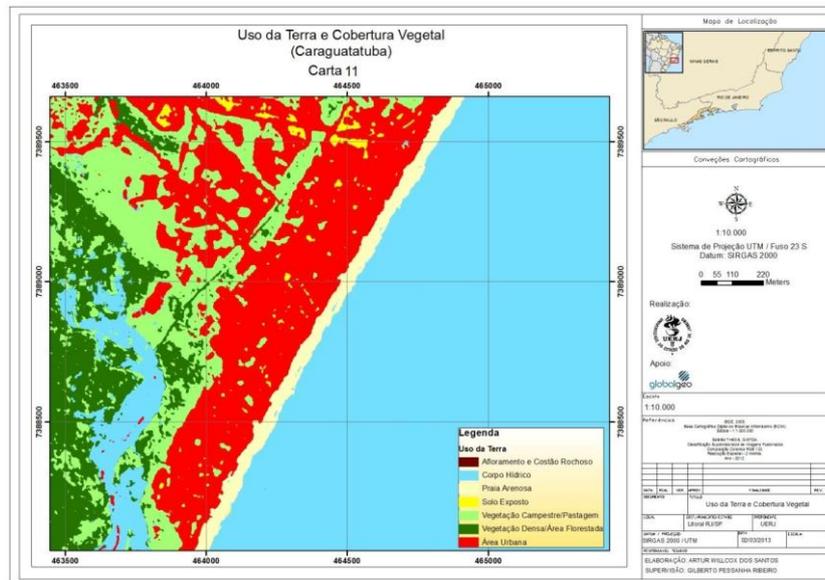


Figura 17 - Mapa de uso da Terra e cobertura vegetal na escala 1/10.000 de porção do litoral norte de São Paulo.

No mapa apresentado na Figura anterior, mais uma vez ocorrem inconsistências, e quando são observados e analisados os polígonos indicativos do corpo hídrico representado pela drenagem na porção sudoeste do mapa. Pode ser verificado que houve conflito semântico na categorização de classes, isto é, há vegetação no continente que foi classificada como água erroneamente. Na classificação supervisionada, a qualidade do resultado final envolve como se procedeu na aquisição das amostras selecionadas, no conhecimento do especialista técnico e a própria resolução espacial/espectral da imagem. São itens que vão influenciar no resultado da classificação supervisionada. Esses exemplos indicam que o refinamento deste mapeamento temático é necessário a partir de dados reais de campo, e como estão hoje apontam invalidez do seu uso em todas as possíveis aplicações, uma vez que quantificar classes e extrair áreas em documentos cartográficos como assim se encontram, não é prudente. Os resultado deste trabalho são preliminares por este motivo. Cuidados devem ser tomados em mapeamentos dessa natureza, onde se busca retratar aspectos da superfície terrestre e representá-los em mapas temáticos. No contexto de orientação da ocupação humana nesse litoral, diante de mudanças climáticas, foi imperativo pesquisar sobre o comportamento do clima num recorte regional, com base em dados do acervo do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP). Diante das séries históricas encontradas foi possível organizar dados e apresentá-los na forma de diagramas como apresentados nas duas Figuras a seguir. A tipologia desses dados temáticos seguiu critérios de

grandezas físicas relevantes para as análises espaciais que se pretende, diante de eventos climáticos extremos, com base em: vento, temperatura, radiação solar, precipitação e umidade relativa. Foram disponibilizados mapas indicativos das variações dessas grandezas físicas no website www.georeferencial.com.br para eventuais consultas. Para efeito de agregação e integração de dados temáticos desses tipos foram criadas Tabelas no banco de dados espaciais do projeto.

Tabela 8 – Número de documentos cartográficos produzidos.

Município/Escala	Área (km ²)	Quantidade de documentos cartográficos	
		1/50.000	1/10.000
Caraguatatuba	482	16	62
Ubatuba	700	32	96
Paraty	920	34	116
Angra dos Reis	620	32	140
Mangaratiba	287	20	62
Total	3.009	134	476

Para estes mapeamentos foi possível totalizar 134 cartas-imagem e mapas temáticos na escala 1/50.000, e 476 documentos desses mesmos tipos na escala 1/10.000. Ainda no sentido de corresponder às metas do projeto, foram quantificados os valores de áreas das classes empregadas para compor o espectro da legenda dos documentos gerados. Nessa etapa é comprovada a incerteza na qualificação desses documentos, uma vez que a atribuição de classes aos polígonos, resultado da segmentação, é um caso de conflito de semântica no emprego adequado dos padrões de uso da Terra e cobertura vegetal. Esse impasse se resolve, geralmente, com trabalhos de campo para coleta de informações qualitativas, e também com consultas a documentos atualizados das áreas investigadas.

Tabela 9 - Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/50.000).

Município/Padrão de uso da Terra e cobertura vegetal	Vegetação Arbórea	Vegetação Gramínea e Arbustiva	Corpo hídrico	Praia Arenosa	Solo Exposto	Obras e Edificações	Afloramento Rochoso	Costão Rochoso
Caraguatatuba	453,03	45,99	8,63	1,14	0,01	17,07	0,09	0,19
Ubatuba	651,23	66,11	12,41	1,64	0,02	24,54	0,13	0,27
Paraty	877,75	89,11	16,73	2,21	0,03	45,99	0,17	0,36
Angra dos Reis	566,29	57,49	10,79	1,42	0,02	21,34	0,11	0,23
Mangaratiba	10,67	28,75	5,40	0,71	0,01	10,67	0,06	0,12
Total	2.558,97	287,45	53,96	7,12	0,10	119,61	0,56	1,17

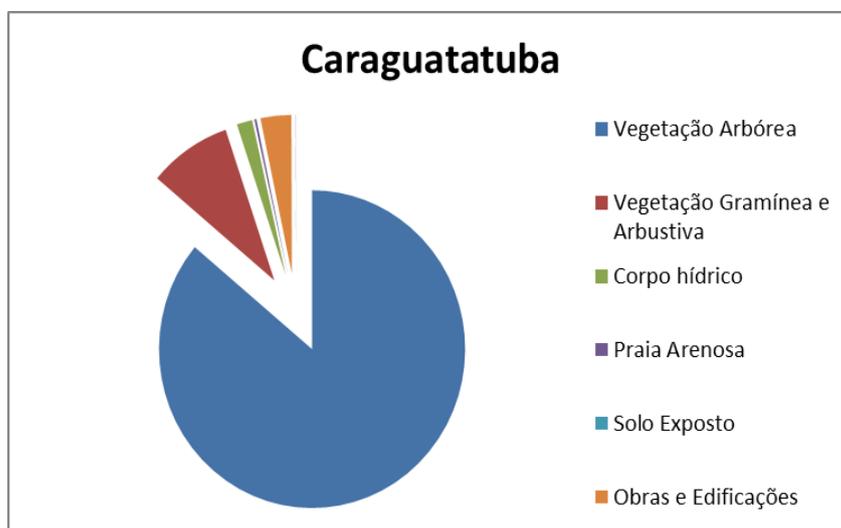


Figura 18 – Gráfico das Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/50.000).

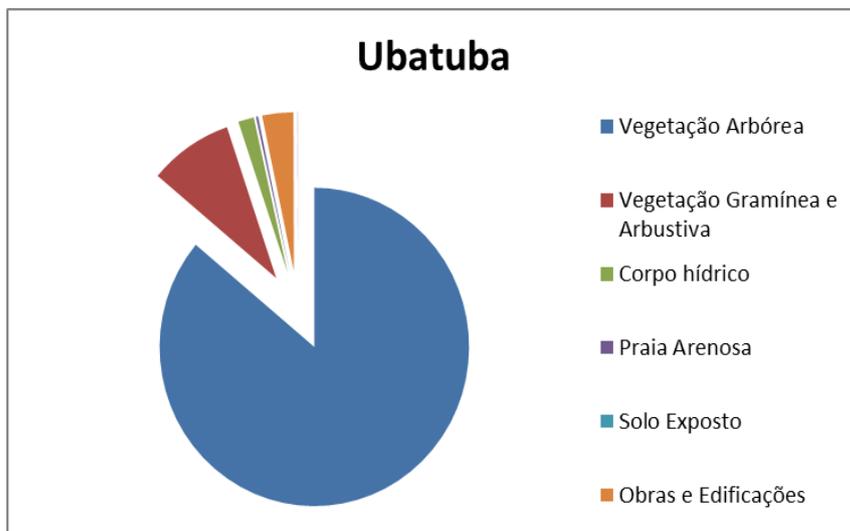


Figura 19 – Gráfico das Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/50.000).

Tabela 10 - Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/10.000).

Município/Padrão de uso da Terra e cobertura vegetal	Vegetação Densa	Vegetação Gramínea e Arbustiva	Corpo hídrico	Praia Arenosa	Solo Exposto	Obras e Edificações	Afloramento Rochoso	Costão Rochoso
Caraguatatuba	231,80	104,90	215,00	1,10	1,10	30,90	0,50	0,40
Ubatuba	271,70	29,90	230,30	0,70	0,20	18,90	0,20	1,30
Paraty	382,20	51,80	151,00	0,50	0,10	5,50	1,80	1,70
Angra dos Reis	218,00	75,70	319,60	0,50	0,70	14,80	1,00	2,00
Mangaratiba	262,10	112,10	227,50	0,30	0,10	9,30	3,20	4,20
Total	1.365,80	374,40	1.143,40	3,10	2,20	79,40	6,70	9,60

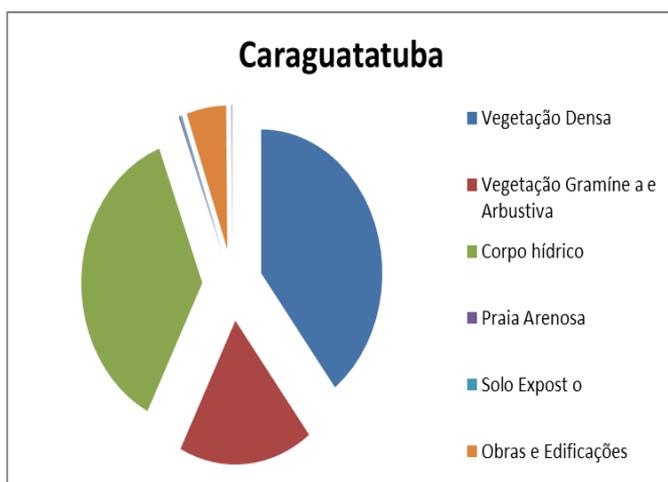


Figura 20 – Gráfico das Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/10.000).

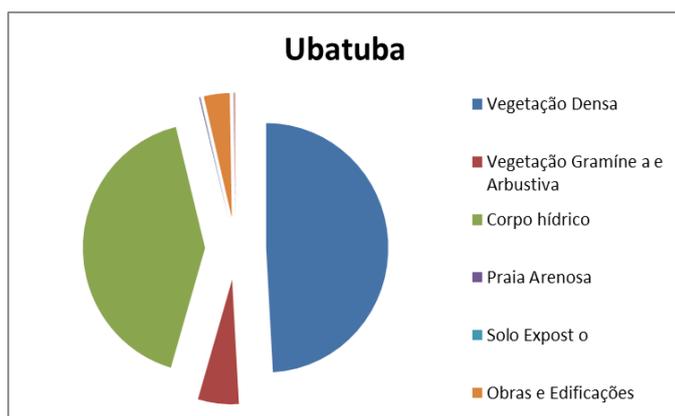


Figura 21 – Gráfico das Áreas (km²) estimadas classificadas por município (escala 1/10.000).

No contexto do projeto de pesquisa que deu origem aos resultados aqui apresentados parcialmente, há etapas a serem vencidas de carga do banco de dados, em se tratando de dados de clima. Essa etapa, no SIG criado, está sendo tratada na geração de mapas temáticos onde há duas versões, em escalas distintas. Numa delas são apresentados num recorte mais geram, em escala menor, elementos do meio físico, com nas Figuras a seguir. Outra versão é marcada por mapas na escala aproximada de 1/1.000.000, envolvendo os municípios litorâneos paulistas e fluminenses. O que se espera a partir dos progressos é associar espacialmente onde tem ocorridos eventos extremos climáticos nessa região, e apresentá-los nos mapas temáticos, e executar comparações sobre os mapas de uso da Terra e cobertura vegetal, tanto gerados com as imagens THEOS, como outros disponíveis.

4 CONCLUSÃO

A experiência com imagens THEOS destinadas ao mapeamento regional (1/50.000) obteve êxito, mesmo em se tratando de resultados preliminares, no recorte espacial do litoral em questão. Refinamento sobre os resultados a partir da classificação semisupervisionada obtida é necessário, uma vez que observou-se a existência de inconsistências qualitativas. A solução dos conflitos semânticos, que dão o caráter investigativo da pesquisa sobre os resultados alcançados, é o grande desafio enfrentado. Associado à essa solução são imperativos investimentos. Não há como negligenciar os esforços aqui sucintamente descritos no sentido de busca de melhores resultados, no método adotado de segmentação e nos procedimentos na classificação. O profissionalismo cartográfico persiste tanto nas comprovações de campo dos padrões apresentados, e nesse processo observa-se que imagens de alta resolução empregadas permitem mapeamentos mais detalhados, diante dos convencionais com resolução espacial média e pequena. Mas é notado aqui nessa experiência as fases seguintes, i. e., os desdobramentos para garantia de mapeamento cartográfico também na escala 1/10.000. Todos os mapas temáticos revisados e ajustados estão disponíveis em: <http://georeferencial.com.br/linhas-e-projetos-de-pesquisas/>. Os dados do meio físico foram pesquisados numa visão regional e em escala pequena. A adequação desses dados na análise integrada pretendida permitiu apresentar cenários históricos de sua evolução, diante dos eventos extremos de maior expressão no litoral de Ubatuba e Caraguatatuba/SP. O projeto está em franco desenvolvimento com etapas a vencer: carga no banco de dados espaciais considerando dados de clima e de censos demográficos, o que permitirá consultas espaciais e atualizações. Mais desafios se configuraram também nessa fase final do projeto. Resultados estão sendo gradativamente validados e disponibilizados no *website*.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem aos pesquisadores do Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo Celia Regina de Gouveia Souza, Cláudio José Ferreira e Denise Rossini Penteadó. Agradecem também aos alunos do curso de Geofísica Lais Ribeiro Baroni e Filipe Quintanilha Pereira, ambos da Universidade Federal Fluminense (UFF), e, por fim, Eduardo Paço da Hora e Marcelo Francisco Moraes da empresa Globalgeo Geotecnologias. Por último, é feito um agradecimento às agências de fomento à pesquisa FAPERJ e FAPESP.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G, DAVIS, C. E MONTEIRO, A. M. V., **Introdução à Ciência da Geoinformação**, INPE, 2011, <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>.

CÂMARA, G., CASANOVA, M. A., HEMERLY, A. S., MAGALHÃES, G.C. E MEDEIROS, C. M. B., **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**, INPE, 1996, <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>.

CANNON, M. E.; LACHAPELLE, G., **Satellite Positioning Lectures Notes**, University of Calgary, Canadá, 2009.

COSME, A., **Projeto em Sistemas de Informação Geográfica**, Editora Lidel, Portugal, 2012. FITZ, P. R., **Cartografia Básica**, Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2008.

FLORENZANO, T. G., **Iniciação em Sensoriamento Remoto**, Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2011.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B., **Geodésia Celeste**, Editora da UFPR, Curitiba/PR, 2004.

ISHIKAWA, M. I., **Potencialidades de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em Áreas Urbanas**. Dissertação (Mestrado), UNESP, Presidente Prudente. São Paulo. 2001.

JENSEN, J. R., **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, Editora Parêntese, São Paulo, SP, 2009.

KUX, H.; BLASCHKE, T., **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. Novos sistemas sensores. Métodos inovadores**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2ª Edição, 2013.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W., **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**, Editora Bookman, 2012.

MARTINELLI, M., **Mapas da Geografia e Cartografia Temática**, Editora Contexto, 2011. MATOS, J., **Fundamentos de Informação Geográfica**, Editora Lidel, Portugal, 6ª Edição, 2012. MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C., **Roteiro de Cartografia**, Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2013.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. (orgs.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto** UnB e CNPq, 2012.

MIGUENS, A. P., **Navegação: a Ciência e a Arte**, Volumes I, II e III, Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil, 1998.

MIRANDA, J. I., **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**, Embrapa Informação Tecnológica, 2010, http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00083790.pdf. MONICO, J. F. G., **Posicionamento pelo GNSS**, Editora da UNESP, São Paulo/SP, 2008.

MONTONI, M. A., **Uma investigação sobre os fatores críticos de sucesso em iniciativas de melhoria de processos de software**, Tese de Doutorado UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2010.

NOGUEIRA, R., **Cartografia, Representação, Comunicação e Visualização de Dados Espaciais**, Editora UFSC, 2009.

NOVO, E. M. L. M., **Sensoriamento Remoto. Princípios e aplicações**, Editora Edgard Blücher, São Paulo, SP, 2008.

OLAYA, V., **Sistemas de Información Geográfica**, 2011, http://sextante.googlecode.com/files/Libro_SIG.pdf.

ROCHA, A. R. C., MALDONATO, J. C., WEBER, K. C. **Qualidade de software** Prentice Hall, 2001.

ROSA, R., **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Editora da UFU, 2007.

WANG, Y., **Remote Sensing of Coastal Environments**, CRC Press Taylor & Francis Group, 2010.