

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Geologia



**AVALIAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA COM DRONES NO
MAPEAMENTO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM ÁREAS
COSTEIRAS: ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE
CARAGUATATUBA E UBATUBA (SP)**

Gabriel Henrique Sporn de Oliveira

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis (orientador)

Rio Claro - SP
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

GABRIEL HENRIQUE SPORH DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA COM DRONES NO MAPEAMENTO DA
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM ÁREAS COSTEIRAS: ESTUDO DE
CASO NOS MUNICÍPIOS DE CARAGUATATUBA E UBATUBA (SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do Bacharelado em Geologia,
junto ao Conselho de Curso de Bacharelado
em Geologia, do Instituto de Geociências e
Ciências Exatas da Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus
de Rio Claro

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes
Vieira Reis

Rio Claro - SP
2021

SUE

Classo	(GEL
	(2021/24
Tombo	

TF-7749

O48a Oliveira, Gabriel Henrique Sporh de
Avaliação da Aerofotogrametria com Drones no Mapeamento da
Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Áreas Costeiras: Estudo de Caso nos
Municípios de Caraguatatuba e Ubatuba (SP) / Gabriel Henrique Sporh de
Oliveira. -- Rio Claro, 2021
67 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade
Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Rio Claro
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Meio ambiente. 2. Cartas de Sensibilidade Ambiental a
Derramamentos de
Óleo. 3. Drone. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto
de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Gabriel Henrique Sporth de Oliveira

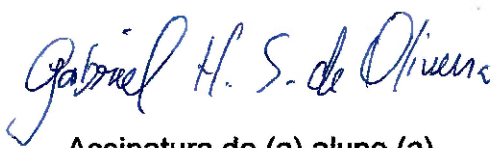
**AVALIAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA COM DRONES NO MAPEAMENTO DA
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM ÁREAS COSTEIRAS: ESTUDO DE
CASO NOS MUNICÍPIOS DE CARAGUATATUBA E UBATUBA (SP)**

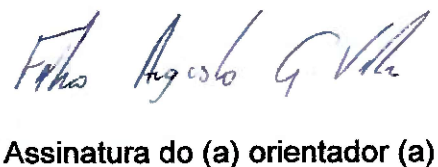
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do Bacharelado em Geologia,
junto ao Conselho de Curso de
Bacharelado em Geologia, do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Campus de Rio Claro.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto
Gomes Vieira Reis

A banca examinadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso realizada em sessão
pública em 15 de abril de 2021, considerou o (a) candidato (a):

- 1) Examinador (a): Dr. Cláudia Vanessa dos Santos Côrrea
- 2) Examinador (a): Ms. Victor Carvalho Cabral
- 3) Presidente: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis


Assinatura do (a) aluno (a)


Assinatura do (a) orientador (a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de poder mostrar minha emoção por ter conseguido terminar este trabalho depois de tanta luta e dedicação em um momento delicado da minha vida.

Gostaria de agradecer imensamente à Deus por ter me tornado capaz de atingir meus objetivos, aos meus amigos que me acompanharam diante desta jornada de 5 anos e que me trouxeram muito aprendizado e a minha família (pai, mãe e irmã) que nunca desistiram de mim e sempre buscaram me levantar e incentivar.

Agradeço, também, aos colaboradores do projeto “Cartas SAO dos Ambientes Litorâneos do Estuário de Santos” e o apoio da FundUNESP que tornou isso possível. Gostaria de agradecer ao meu orientador o Prof. Dr. Fábio Reis, ao Ms. George Longhitano e sua empresa GDrones pelos levantamentos de campo e ao Ms. Arthur Wieczorek por disponibilizar o material de apoio para esta monografia.

"O primeiro dever da inteligência é desconfiar dela mesma"

- Albert Einstein

RESUMO

As Cartas de Sensibilidade ao Óleo são documentos cartográficos de extrema importância para a identificação de ambientes costeiros sensíveis, onde é possível identificar quais tipos de ambientes necessitam de uma resposta imediata em caso de acidente, auxiliando no trabalho de prevenção e no trabalho de remediação. Estas cartas classificam os ambientes costeiros segundo uma escala numérica qualitativa, baseada nas características fisiográficas observadas através de vários métodos, sendo os mais efetivos a pesquisa de reconhecimento de campo e as análises de imagens de satélite e modelos tridimensionais do terreno. Entretanto, muitas áreas, são precárias quanto a acessibilidade, como costões rochosos e áreas de muita vegetação, e outras possuem algum grau de dificuldade na diferenciação de ambientes através de imagens de baixa resolução espacial como as áreas consideradas de alta sensibilidade que geralmente necessitam de um detalhamento mais aprofundado. O drone é uma tecnologia nova que vem sendo cada vez mais empregada em pesquisas em todo o mundo, pois se destaca em sua versatilidade, baixo custo de operação e boa logística de trabalho. Nesta perspectiva, os drones podem ser utilizados como um instrumento para auxiliar no mapeamento de ambientes litorâneos com o intuito de se elaborar as Cartas de Sensibilidade ao Óleo, sendo uma alternativa a análise remota tradicional através de imagens de satélite do Google Earth ou outras fontes. Através da obtenção de um pré mapeamento tradicional e o levantamento aerofotogramétrico com drones em áreas do município de Caraguatatuba e Ubatuba (SP) é possível verificar as vantagens e as limitações que este método traz em relação ao anterior através da análise comparativa entre as imagens tradicionais e as ortofotos e seus produtos de processamento no *software Agisoft Metashape*.

Palavras-chave: Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo, Drones, Ortomosaicos, Modelos Tridimensionais do Terreno.

ABSTRACT

Oil Sensitivity Charts are cartographic documents of extreme importance in the identification of sensitive coastal environments. They support the recognition of the needs of a certain type of environment requires in case of oil spills, thus assisting in the prevention and remediation of accidents. These charts classify coastal environments according to a qualitative numerical scale, based on physiographic features observed through various methods, the most effective of which are field recognition and analysis of satellite images and three-dimensional models. Many areas, however, are precarious in terms of accessibility, such as rocky shores and heavily vegetated areas, and others may have some degree of difficulty to differentiate environments through low-resolution images, such as areas of high sensitivity that generally demand to be detailed more profoundly. Drone is a new technology that is being used more and more in research worldwide, due to its versatility, low operating cost and good work logistics. In this perspective, drones could be used as an instrument to aid on the mapping of coastal environments to elaborate Oil Sensitivity Charts, being an alternative to the traditional remote analysis through satellite images from Google Earth or other sources. By obtaining both the traditional mapping on Google Earth and the aerophotogrametric survey by drone over small areas of the counties of Caraguatatuba and Ubatuba (SP) it is possible to verify the advantages and the limitations that this method has in relation to the anterior, by making a comparative analysis between the satellite images and the orthophotos and their processing products on the software Agisoft Metashape.

Keywords: Oil Spill Sensibility Chart, Drones, Orthomosaics, Tridimensional Terrain Models

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: mapa de localização da área de estudo, mostrando em vermelho os ambientes costeiros mapeados por UNESP (2020).....	16
Figura 2: Modelo Albatross.....	29
Figura 3: A: Parrot Bebop Pro Thermal, B: G Q45, C: DJI Phantom 4 Advanced Pro e D: Hexacóptero Seeker	31
Figura 4: mapa hipsométrico do Litoral Norte de São Paulo mostrando a diferença altimétrica na transição entre a Serrania Costeira e a Zona da Baixada.....	35
Figura 5: mapa geológico do Litoral Norte do Estado de São Paulo	36
Figura 6: fluxograma das etapas, resultados e decisões tomadas na execução deste trabalho	37
Figura 7: classificação ISL de UNESP (2020) com ampliação dos setores que contém as áreas alvo. O setor mais a nordeste se encontra dentro de Ubatuba e possui três faixas de costa levantadas.	39
Figura 8: alinhamento e georreferenciamento das ortofotos aéreas	40
Figura 9: nuvem de pontos obtida da região costeiro do Setor 1 deste trabalho, contendo 3 ortomosaicos em análise	40
Figura 10: nuvem densificada de pontos.....	41
Figura 11: modelo 3D feito a partir de texturização e suavização das formas	41
Figura 12: ortofoto de drone mostrando orientada e escalada mostrando com linhas vermelhas a orientação principal das fraturas e em azul as secundárias	43
Figura 13: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando quedas de blocos em regiões costeiras de alta declividade e expostas	43
Figura 14: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....	44
Figura 15: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o contraste entre as águas do oceano e da laguna	45
Figura 16: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....	46
Figura 17: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando do lado direito um maciço liso e exposto e um maciço mais fraturado e com alguns matacões do lado esquerdo	47

Figura 18: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....	48
Figura 19: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando em vermelho as fraturas com direção NE-SW e em azul as fraturas NW-SE.....	49
Figura 20: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando em vermelho a pequena faixa de areia na Ilha maior da Cocanha	49
Figura 21: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando a outra pequena faixa de areia na Ilha maior da Cocanha	50
Figura 22: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone com destaque as faixas de areia com potencial de estudo de campo; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020)	51
Figura 23: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as áreas alagadas pela variação do nível da laguna.....	52
Figura 24: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as margens vegetadas e alagadas da laguna	53
Figura 25: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....	54
Figura 26: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o contraste da vegetação mais escura com a vegetação mais clara, além do cercamento da área de preservação em relação a área residencial.....	55
Figura 27: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o acúmulo de resíduos sólidos próximos ao leito do ribeirão	56
Figura 28: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....	57
Figura 29: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as duas margens deste rio onde é possível notar a vegetação na margem convexa e a ocupação residencial na margem côncava. A seta em vermelho indica o curso do rio em direção ao oceano.	59
Figura 30: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando a mancha de óleo próxima a margem côncava deste rio	59
Figura 31: imagem retirada do ortomosaico processado mostrando a qualidade do contraste e da resolução em que é possível ver claramente a iridescência desta mancha de óleo	60

Figura 32: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone;
B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).....61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: ambientes e seus respectivos índices de acordo com Petersen (2007) e MMA (2002).....	19
Quadro 2: padronização por código de cor RGB para os diferentes ISLs e seus respectivos ambientes.....	21
Quadro 3: tabela mostrando as subclassificações propostas por Wieczorek (2006)	25
Quadro 4: índice de sensibilidade fluvial	26
Quadro 5: especificações técnicas de alguns drones utilizados em mapeamentos ambientais e inspeções de segurança. OBS: as células marcadas com um "X" não foram encontradas e/ou não tem seu valor reconhecido.....	30

LISTA DE SIGLAS

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM: Serviço Geológico do Brasil (antiga Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)

KML: *Keyhole Markup Language*

IPIECA: *International Petroleum Industry Environment Conservation Association*

ISF: Índice de Sensibilidade Fluvial

ISL: Índice de Sensibilidade ao Óleo

MMA: Ministério do Meio Ambiente

NOAA: *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PEI: Planos de Emergência Individuais

SAO: Sensibilidade Ambiental ao Óleo

VANT: Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	15
2	OBJETIVOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Cartas SAO (Cartas de Sensibilidade ao óleo)	17
3.1.1	ISL	17
3.1.2	Recursos biológicos	22
3.1.3	Atividades Socioeconômicas	23
3.1.4	Aplicações da Carta SAO	24
3.2	O Levantamento Aerofotogramétrico por Drones	27
3.2.1	Contextualização histórica e o desenvolvimento da aerofotogrametria	27
3.2.2	Tipos de drones, atributos técnicos e aplicações no mapeamento ambiental	30
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.1	Clima	34
4.2	Geomorfologia	34
4.3	Geologia	35
5	MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	37
5.1	Obtenção da sensibilidade dos ambientes costeiros de Caraguatatuba e Ubatuba-SP de UNESP (2020) e seleção das áreas-alvo para definição dos planos de voo	38
5.2	Levantamento aerofotogramétrico com VANT	39
5.3	Processamento das ortofotos e geração dos ortomosaicos de alta resolução	39
5.4	Análise dos ambientes costeiros através dos ortomosaicos	42
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1	Setor Ubatuba	42
6.1.1	Faixa Costeira 1	42
6.1.2	Faixa Costeira 2	44
6.1.3	Faixa Costeira 3	46
6.2	Setor Caraguatatuba 1	48
6.3	Setor Caraguatatuba 2	51
6.4	Setor Caraguatatuba 3	55

6.5	Setor Caraguatatuba 4	58
7	CONCLUSÕES	61
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO) são documentos cartográficos essenciais para o planejamento de contingência e implementação de ações para mitigar os danos ambientais causados pela poluição por óleo, identificando que tipos de ambientes possuem prioridade de proteção e quais podem ser considerados como áreas de sacrifício, possibilitando o direcionamento de recursos e a mobilização de equipes para contenção e limpeza (IPIECA, 1996). Barbosa *et al.* (2010) destaca que esses documentos são exigências obrigatórias para todas as etapas de remediação e recuperação de determinada região danificada pelo derramamento de petróleo e/ou derivados.

As Cartas SAO podem ser divididas em três tipos de acordo com sua escala de detalhe. As cartas estratégicas possuem pouco detalhamento e são utilizadas para cobrir grandes áreas; as cartas táticas possuem médio detalhamento; e as cartas operacionais possuem alto nível de detalhe com valores de escala entre 1:50.000 e 1:10.000 (MMA, 2002).

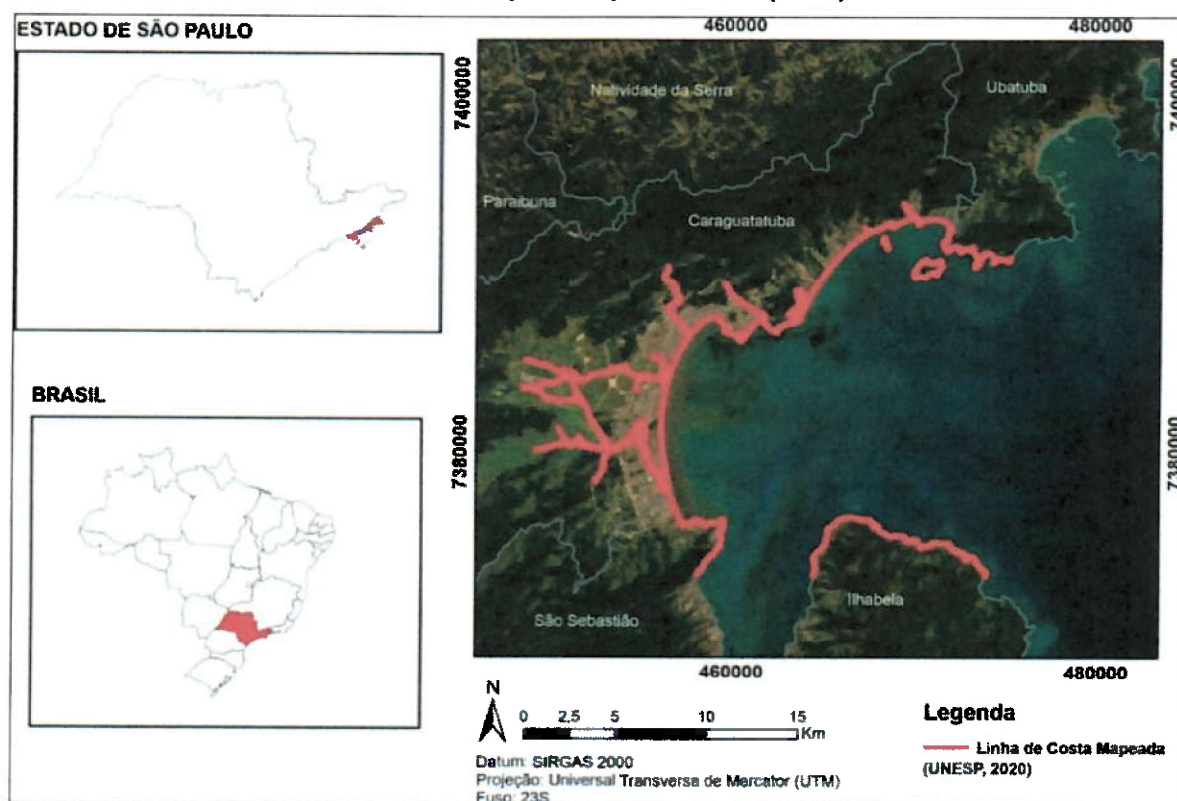
Nas Cartas SAO existem três tipos de informações espaciais, ISL, Recursos Biológicos e Recursos/Atividades Socioeconômicas (JENSEN *et al.*, 1998). O ISL é a informação responsável por classificar o ambiente numa escala de 1-10, a partir de características físicas e morfológicas (MMA, 2004). Os Recursos Biológicos são informações obtidas através de pesquisas de campo e identifica comunidades biológicas potencialmente sensíveis ao contato com o óleo. Por fim, os Recursos Socioeconômicos são dados referentes às atividades humanas que podem ser prejudicadas em situações de vazamentos de óleo, como a pesca, a recreação e a prática de esportes.

O ISL é uma informação importante que pode ser obtida remotamente através de atividades de fotoanálise. Nesse sentido, as fotos aéreas podem ser obtidas através de satélites e plataformas orbitais (imagens de satélite) ou por aerofotogrametria convencional. Entretanto, em algumas circunstâncias o uso destas ferramentas pode se tornar inviável devido à falta de precisão espacial e temporal, fatores intrinsecamente necessários para o monitoramento de ambientes de alto risco (ISL 9-10). O uso de drones na aquisição de imagens de alta resolução pode ser usado na identificação de danos ambientais em áreas de difícil acesso, eliminando a

necessidade de colocar equipes de patrulha em situações de risco (FARIA; COSTA, 2015).

Considerando essas premissas, a proposta deste trabalho é utilizar o drone como uma ferramenta de monitoramento e detalhamento de ambientes costeiros sensíveis ao derramamento de óleo comparando com métodos tradicionais de mapeamento remoto. Para isso foram selecionadas oito pequenas áreas nos municípios de Caraguatatuba e Ubatuba (SP), localizados no litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 1).

Figura 1: mapa de localização da área de estudo, mostrando em vermelho os ambientes costeiros mapeados por UNESP (2020).



Fonte: imagem de satélite retirada do *Google Earth* com edições nos softwares *ArcGIS* e *CorelDRAW*.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar o emprego aerofotogrametria com drones como ferramenta na identificação de ambientes costeiros para elaboração de Cartas SAO. Ademais, o trabalho também visou comparar imagens obtidas com drones de

áreas pré-mapeadas por UNESP (2020) de alta sensibilidade e de difícil acesso com imagens orbitais da plataforma *Google Earth*, com a finalidade de avaliar a efetividade do uso de VANTs nessas situações peculiares.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Cartas SAO (Cartas de Sensibilidade ao óleo)

As Cartas SAO são ferramentas essenciais para o planejamento de contingência e implementação de ações para mitigar os danos ambientais causados pela poluição por óleo, que possibilita identificar que tipos de ambientes necessitam prioridade de proteção e quais podem ser considerados como áreas de sacrifício, viabilizando o direcionamento de recursos e a mobilização de equipes para contenção e limpeza (IPIECA, 1996). Barbosa *et al.* (2010) também destacaram a importância das Cartas SAO, afirmando que são documentos legais obrigatórios em todas as etapas de remediação e recuperação de uma região danificada pelo derramamento de petróleo e derivados.

A Resolução CONAMA 398 disserta que as Cartas SAO devem integrar os planos de emergência individuais (PEIs), pois se configuram como um importante aliado às ações de combate aos vazamentos de óleo (MMA, 2004). Não obstante, no Artigo 1º da Lei Federal nº 9.966, de 28 de abril de 2000, está definido que:

[...] os portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, plataformas, as respectivas instalações de apoio, bem como sondas terrestres, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares deverão dispor de plano de emergência individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, na forma desta resolução (BRASIL, 2000).

3.1.1 ISL

O ISL é um índice que classifica a sensibilidade do ambiente de acordo com as características físicas e geomorfológicas dos diferentes tipos de ambientes costeiros, considerando a persistência natural do óleo e as condições para o trabalho de limpeza e sua remoção. Os valores desse índice variam em uma escala de 1 a 10 sendo, por exemplo, costões rochosos expostos classificados com o valor mínimo de

sensibilidade e manguezais classificados com o valor máximo (MMA, 2002). Todavia, é necessário ter um entendimento pleno do ambiente costeiro, das relações dos processos físicos e do substrato para que seja possível prever o comportamento do óleo e como funciona o transporte de sedimentos (PETERSEN; MMA, 2002). Neste sentido, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) definiu, neste sentido, três parâmetros para determinar o ISL: grau de exposição à energia de ondas e marés, declividade e tipo de substrato (MMA, 2002).

O grau de exposição à energia das ondas e marés em um ambiente costeiro é muito importante de ser avaliado, pois interfere diretamente no tempo de residência do óleo, dificultando ou não sua dispersão natural. Ambientes considerados como expostos possuem um ISL inferior, pois estão suscetíveis às correntes de retorno das ondas e ao recobrimento das marés (MMA, 2002). Por outro lado, os ambientes abrigados, são pouco afetados pela energia destes fenômenos, tornando a dispersão natural do óleo extremamente prejudicada (MMA, 2002).

A declividade está intrinsecamente ligada à extensão da zona intermaré. Nesse sentido, a inclinação do litoral pode ser alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) ou pequena (menor que 5°). Porém é importante se destacar que declividade influencia na arrebentação das ondas, especialmente em ambientes muito inclinados, promovendo a quebra abrupta e os fenômenos de refração e reflexão. Estes eventos resultam em altas velocidade de espraiamento e consequentemente, uma limpeza mais efetiva no litoral (MMA, 2002). Ambientes de baixa declividade e de baixa energia, como planícies de maré e manguezais, são de maneira geral, as regiões mais propensas a permanência do óleo, acrescentando-se ao fato de que essas áreas possuem grande biodiversidade (PETERSEN, 1997).

O tipo de substrato está relacionado a alguns parâmetros, como permeabilidade, mobilidade do sedimento e permanência do óleo e estes se constituem no arcabouço que defini quais comunidades biológicas podem estar presentes (MMA, 2002).

A permeabilidade tem relação direta com a infiltração potencial e o tempo de permanência do óleo, sendo assim, quanto maior a granulometria maior a permeabilidade e a infiltração (MMA, 2002). Praias com sedimentos pobremente selecionados, no entanto, possuem uma penetração dificultada em relação a praias somente de cascalho (MMA, 2002). Praias de areia podem ter sua classificação condicionada através da sua granulometria predominante, sendo sua infiltração

potencial influenciada exclusivamente por este parâmetro (MMA, 2002). Sedimentos lamosos de manguezais e planícies de maré são incipientemente permeáveis e possuem alta saturação em água, o que dificulta a penetração do óleo. Como são ambientes bastante bioturbados por organismos, a infiltração pode ser facilitada através de suas tocas (MMA, 2002).

Eventos energéticos como tempestades podem afetar o substrato causando sua movimentação diminuindo o tempo de residência do óleo (MMA, 2004). Como as praias são depósitos sedimentares não consolidados as ondas e o vento atuam, o que facilita a erosão e deposição em faixas distintas. Portanto, estes locais possuem alto potencial de enterramento, principalmente se óleo já foi aprisionado no início do período de deposição (MMA, 2002). Outro fator relevante é a trafegabilidade, pois influencia na velocidade de trabalho de equipes designadas para remoção/limpeza do óleo (MMA, 2002).

Em síntese, os substratos podem ser classificados como substratos rochosos impermeáveis ou semipermeáveis; substratos sedimentares classificados de acordo com a granulometria (lama, areia muito fina a média, areia grossa, grânulo, seixos e calhaus); substratos vegetados como banhados, planícies fluviais, manguezais e restingas; e substratos artificiais, como enrocamentos (estruturas artificiais compostas por blocos) permeáveis à penetração do óleo, muros e outras estruturas de material sólido (MMA, 2002).

Visto a necessidade de se ter uma classificação específica para os ambientes do litoral brasileiro, o MMA (2004) publicou um quadro comparando os ambientes do litoral nacional com a classificação de PETERSEN (1997) para o litoral estadunidense (Quadro 1).

Quadro 1: Ambientes e seus respectivos índices de acordo com Petersen (2007) e MMA (2002).

ISL	Classificação Petersen (1997) para a costa norte-americana	Classificação MMA (2002) para a costa brasileira
1	-Molhes expostos e outras estruturas sólidas feitas de concreto, madeira ou metal, impermeáveis	-Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos -Falésias em rochas sedimentares, expostas-Estruturas artificiais lisas, expostas
2	-Escarpas e taludes íngremes de argila	-Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostas

	-Plataformas de argila erodidas pelas ondas	-Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço de arenito aflorante e bem consolidado)
3	-Praias de areia fina -Escarpas e taludes íngremes de areia	-Praias dissipativas de areia média a fina, expostas -Faixas arenosas paralelas à praia, sem vegetação, sujeitas à ação de ressacas
4	-Praias de areia grossa	-Praias de areia grossa -Praias intermédias de areia fina a média, expostas -Praias de areia fina a média, abrigadas
5	-Praias mistas de areia e cascalho (ou conchas)	-Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais -Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação -Recifes de arenito em franja
6	-Praias de cascalho (ou de conchas) -Enrocamentos expostos	-Praias de cascalho (seixos e calhaus) -Costa de detritos calcários -Depósito de tálus -Enrocamentos expostos -Plataforma ou terraço exumado recortado por concreções lateríticas
7	-Planícies de maré expostas	-Planícies de maré arenosa exposta -Terraço de baixa-mar
8	-Estruturas artificiais sólidas, abrigadas -Enrocamentos abrigados -Escarpas abrigadas	-Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada -Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada -Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados -Enrocamentos abrigados
9	-Planícies de maré abrigadas -Margens de rios com gramíneas e árvores	-Planície de maré arenosa/ lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas -Terraço de baixa-mar lamoso abrigado -Recifes de arenito que suportam colônias de corais
10	-Pântanos salobros e salgados -Pântanos de água doce (vegetação herbácea) -Pântanos de água doce (vegetação da mata)	-Deltas e barras de rio vegetadas -Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas -Brejo salobro ou de água salgado, com vegetação adaptada a este meio; -Marismas -Manguezais

Fonte: adaptado de MMA, 2002.

Desta maneira foi padronizada, então, a tabela ISL com base nas normas do Ministério do Meio Ambiente. O Quadro 2 mostra os valores finais consolidados dos Índices de Sensibilidade ao Óleo para a costa brasileira com suas respectivas cores, as quais são utilizadas para a identificação do tipo de costa mapeado.

Quadro 2: Padronização por código de cor RGB para os diferentes ISLs e seus respectivos ambientes.

Cor	Índice	Código			Tipos de Costa
		R	G	B	
	ISL 1	19	8	05	-Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos -Falésias em rochas sedimentares, expostas -Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
	ISL 2	174	153	191	-Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos -Terrapços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
	ISL 3	0	151	212	-Praias dissipativas de areia média a fina, expostas -Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeita à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach") -Escarpas e taludes íngremes, expostos -Campos de dunas expostas
	ISL 4	146	209	241	-Praias de areia grossa -Praias intermediárias de areia fina a média, expostas -Praias de areia fina a média, abrigadas
	ISL 5	152	206	201	-Praias mistas de areias e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais -Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação -Recifes areníticos
	ISL 6	0	149	32	-Praias de cascalho (seixos e calhaus) -Costa de detritos calcários -Depósitos de talús -Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente,

					quebra corrente) -Plataforma ou terraços exumados recoberto por concreções lateríticas (dispostas e porosas)
	ISL 7	214	186	0	-Planície de maré arenosa expostas -Terraço de baixa mar
	ISL 8	225	232	0	-Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada -Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada -Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados -Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigadas
	ISL 9	248	163	0	-Planície de maré arenosa/lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas -Terraço de baixa mar lamoso abrigado -Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	ISL 10	214	0	24	-Deltas e barras de rio vegetadas -Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rio e lagoas -Brejo salobro ou de água salgada com vegetação adaptados, apicum -Marismas -Manguezal (mangues frontais e mangues de estuário)

Fonte: adaptado de MMA, 2002.

3.1.2 Recursos biológicos

Os efeitos do óleo nos organismos e no ecossistema em que habitam são amplos. Segundo Fogaça (2012) nos animais o óleo pode cobrir penas e pelos impedindo-os de respirar, excretar e se alimentar de maneira correta, além de poder prejudicar os seus movimentos e alterar a temperatura corporal resultando em sua morte. Fogaça (2012) também enfatiza que quando o óleo chega nos mangues ele recobre as raízes das plantas impedindo que elas retirem nutrientes do solo e atua sobre as algas bloqueando a incidência de luz solar e a qualidade da fotossíntese das mesmas, causando morte em massa de peixes por falta de oxigênio circulando.

Pode também ocorrer um desequilíbrio na cadeia alimentar já que os animais predadores têm seus recursos alimentares reduzidos, pois os animais herbívoros e as

plantas são os mais suscetíveis a morrer devido ao impacto ambiental. Pode também ocorrer uma alteração na fauna local com o aumento de espécies mais resistentes, que podem vir a desenvolver toxinas (CETESB, 1996).

Os principais grupos de espécies envolvidos nos habitats costeiros são as aves, mamíferos aquáticos e terrestres, peixes, invertebrados marinhos, répteis/anfíbios, algas e plantas submersas, recifes de corais, plâncton, grupos bentônicos diversos e grupos múltiplos de recurso (MMA, 2002).

Portanto, a informação de maior importância é a identificação de áreas de concentração de espécies protegidas, raras ou ameaçadas de extinção, com base em estudos nas fases ou atividades mais sensíveis do seu ciclo de vida. Caso, se determine que uma área possua estas condições, ela deverá ser levada ao topo como alta prioridade de proteção (MMA, 2002; PETERSEN, 2002).

3.1.3 Atividades Socioeconômicas

As atividades humanas também devem ser avaliadas no âmbito das Cartas SÃO, como o turismo, a pesca, a aquicultura e o extrativismo costeiro, pois são sensíveis aos impactos por derramamento de óleo (MMA, 2002; PETERSEN, 2002).

Nas Cartas SAO os recursos socioeconômicos são englobados em quatro esferas: áreas recreacionais e locais de acesso, áreas de gerenciamento especial, locais de cultivo e extração de recursos naturais (MMA, 2002).

As áreas recreacionais e locais de acesso incluem praias de uso recreacional, pesca esportiva, áreas de mergulho, esportes náuticos, áreas de veraneio, empreendimentos de turismo e lazer, etc. (MMA, 2002).

As áreas sob gerenciamento especial incluem unidades de conservação, reservas particulares do patrimônio natural, reservas extrativistas, áreas não-edificantes e áreas militares (MMA, 2002).

Recursos naturais envolvem sítios arqueológicos ou históricos, localizados em zonas intermarés, áreas tombadas, reservas indígenas e remanescentes de quilombolas ou comunidades tradicionais (MMA, 2002).

3.1.4 Aplicações da Carta SAO

No Brasil existem vários trabalhos com aplicações dessa metodologia, dentre eles o de Romero *et al.* (2010), que elaboraram uma Carta SAO para o ambiente estuarino-lagunar de Cananéia- Iguape, no litoral sul de São Paulo; Ribeiro *et al.* (2017) avaliaram a sensibilidade de um ambiente terrestre ao derramamento de óleo em um trecho da rodovia Washington Luiz (SP-310) localizado geologicamente na Bacia Sedimentar do Paraná; Ribeiro *et al.* (2018) que levantaram a sensibilidade ao óleo num ambiente fluvial de um trecho do rio Piracicaba; e Wieczorek (2006) que mapeou a sensibilidade à derramamentos de petróleo no Parque Estadual da Ilha do Cardoso no Estado de São Paulo.

Romero *et al.* (2010) elaboraram 15 cartas operacionais da região de Cananéia-Iguape, sendo 11 de ambientes estuarinos e abrigados e 4 das praias expostas. Os resultados se mostraram bastante amplos com a Praia de Fora classificada como ISL 3, praias estuarinas ISL 4; já o sistema estuarino-lagunar apresentou costões rochosos com ISL 8, manguezais com ISL 10 e planícies de maré lamosas sem vegetação de ISL 9, o que condiz com a tabela elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente em 2004. Romero *et al.* (2010) verificaram a importância de um mapeamento operacional para a representação de feições de detalhe no estuário que podem ser de grande importância para o planejamento de emergência e ações de combate no caso de derramamento.

Wieczorek (2006) se aprofundou propondo uma subclassificação para o seu estudo na região do Parque da Ilha do Cardoso compartimentando uma faixa litorânea ISL 3 de acordo com os processos de erosão e sedimentação, compartimentos em processo de erosão tendem a ter sua sensibilidade diminuída em função da retirada de sedimentos evitando soterramento e acumulação de óleo. Para litorais rochosos é necessário avaliar a exposição hidrodinâmica e o tipo de rocha presente, no entanto o autor enfatiza que é necessário conhecer a natureza da rocha, como fraturas, cavidades e tocas, pois estas características acabam por ser importantes para o refúgio da biota. O autor frisa, deste modo, a importância de parâmetros que não são levados em consideração nas metodologias atuais e que podem ser de extrema importância, principalmente quando se refere aos mapeamentos de detalhe (operacionais). Deste modo o autor busca contribuir para um aprimoramento na

padronização das Cartas SAO, sugerindo melhorias na classificação como visto na tabela presente no Quadro 3.

Quadro 3: tabela mostrando as subclassificações propostas por Wieczorek (2006).

ISL	Tipo de Ambiente
1	-Litoral rochoso, liso, exposto, marinho. -Margens rochosas lisas fluviais
3A	-Praia de areia fina, em processo erosivo, marinha
3B	-Praia de areia fina, em processo de transporte, marinha
3C	-Praia de areia fina, em processo de deposicional, marinha
4	-Praia de areia fina, estuarina ou fluvial
6A	-Litoral de matacões, exposto, marinho
6B	-Litoral rochoso heterogêneo, exposto, marinho
7	-Barras de maré semi-submersas
8A	-Litoral rochoso liso, abrigado, marinho
8B	-Litoral rochoso liso, estuarino
8C	-Litoral de matacões, abrigado, marinho
8D	-Litoral rochoso heterogêneo, abrigado, marinho
8E	-Litoral de matacões, estuarino
8F	-Litoral heterogêneo, estuarino
9	-Bancos de lama ou areia
10	-Manguezal -Banhados e áreas alagadas fluviais

Fonte: Wieczorek (2006).

Como foi dito também é possível aplicar a Carta SAO para trabalhos em ambientes terrestres, principalmente quando este pode estar sujeito a derramamentos por acidente ou negligência. Não há dúvidas que os ambientes terrestres onde existe

o maior risco são as estradas e rios, onde o óleo é transportado via caminhão ou barco, respectivamente.

Ribeiro *et al.* (2017) estudaram a sensibilidade ao óleo em um trecho da rodovia Washington Luís (SP 310) através da compartimentação fisiográfica da área, em outras palavras utilizou-se do método de separação de zonas homólogas com características geológicas e geomorfológicas em comum de acordo com a classificação proposta por Zaine (2011). Para a classificação quanto a sensibilidade foi feita uma adaptação do Índice de Sensibilidade ao Óleo Terrestre de Martins *et al.* (2014) considerando as características de uma área sedimentar como declividade, textura do material do perfil de alteração, profundidade do lençol freático e permeabilidade. A partir de todas essas características foi fixado um valor para cada ISR. A autora frisa ao final que é necessário se adaptar às classificações para diferentes tipos de ambientes terrestres dependendo da sua geologia visto que Martins *et al.* (2014) elaboraram uma classificação para áreas cristalinas que não cabia para áreas de bacias sedimentares.

Ribeiro *et al.* (2018) também fez um estudo de sensibilidade ambiental em ambientes fluviais num trecho do rio Piracicaba no município homônimo em São Paulo. A construção da legenda do ISF foi baseada nos critérios de Araújo (2006) e Hayes *et al.* (1995, 1997). O ISF (Quadro 4) foi elaborado visando características geomorfológicas do curso d'água e suas margens.

Quadro 4: índice de sensibilidade fluvial.

ISF	Feições
1	Margens construídas
2	Soleiras fluviais
5	Barras fluviais
9A	Diques marginais seguidos por planícies aluviais
9B	Diques marginais seguidos por terraços ou vertentes
9E	Confluência com coalescência de planícies fluviais
10A	Depósito fluvial com vegetação arbórea ou arbustiva
10B	Depósito fluvial com vegetação herbácea ou ausente

Fonte: Ribeiro *et al.* (2018).

Nestes trabalhos é possível notar que as Cartas SAO não estão apenas restritas aos ambientes costeiros, mas também podem ser utilizadas em ambientes fluviais e em obras lineares, como rodovias e ferrovias.

Pode-se concluir, que todos os métodos empregados pelos autores supracitados partiram do mesmo princípio de interpretação de fotos aéreas como fonte de informação preliminar e trabalhos de campo para coleta de informações e de análises mais aprofundadas e detalhadas.

3.2 O Levantamento Aerofotogramétrico por Drones

3.2.1 Contextualização histórica e o desenvolvimento da aerofotogrametria

A necessidade de se obter imagens aéreas para os mais diversos fins sempre incentivou o advento de novas tecnologias. Partindo deste princípio, se via a necessidade de criar instrumentos voadores que permitissem o registro da superfície em larga escala. Em 1858 o balonista francês Gaspar Felix Tournachon se tornava pioneiro ao tirar a primeira fotografia aérea da vila Petit-Bicetre, tendo realizado este feito por meio de um balão de ar quente amarrado a 80 metros da superfície (KIM; MULLER, 1996).

Apesar de o balão de ar quente ter sido o protagonista na obtenção da primeira foto aérea, as pipas já eram conhecidas e podiam também, dentro de suas limitações, servir como apoio para câmeras fotográficas para obtenção de imagens. Um exemplo disso foi o francês Arthur Batut que acoplou uma câmera fotográfica numa pipa obtendo as primeiras aerofotos através deste instrumento (MEDEIROS, 2008).

No ano de 1906, George R. Lawrence utilizou 16 pipas a fim de realizar um aerolevantamento na cidade de San Francisco, nos EUA, registrando a magnitude dos estragos do terremoto que assolou boa parte da cidade. Esta foi a primeira utilização da aerofotogrametria (criada em 1903) para medição de estragos recorrentes a um desastre natural no mundo (JENSEN et al, 2009).

Coincidentemente neste mesmo ano ocorreu um dos fatos mais importantes para a aerofotogrametria convencional causando uma grande revolução. No dia 23 de outubro de 1906 Alberto Santos-Dumont fez o primeiro voo completo e bem-sucedido em Paris onde pode taxiar, decolar, voar niveladamente e pousar utilizando o famoso 14-bis (FAJER, 2009). Este fato o consagrou mundialmente como o inventor do avião.

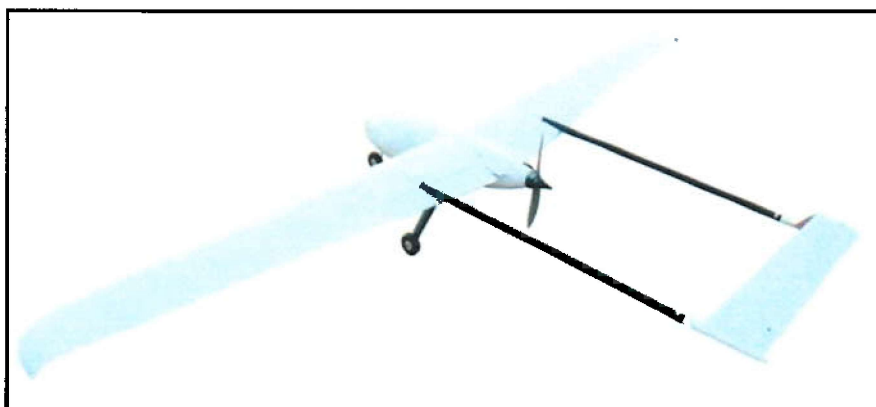
A aerofotogrametria convencional se utiliza dos aviões como meio de transporte para as câmeras fotográficas necessitando assim de um operador e tendo um elevado custo o que torna isto cada vez mais inviável para pesquisas para a vertente acadêmica que é geralmente financiada por recursos insuficientes, por isso a partir da década de 50 os investimentos para elaboração de aeronaves que dispensam o uso de tripulação cresceram (JENSEN et al, 2009).

A partir de então com o desenvolvimento da aviação foram realizados os primeiros projetos para construção de aeronaves não-tripuladas controladas remotamente. Vale ressaltar que a construção destas naves foi inicialmente motivada para fins bélicos já que o período histórico se inseria dentro do contexto da Primeira Guerra Mundial e Segunda Guerra Mundial (LONGHITANO, 2010). Com isto se conclui que a necessidade de se monitorar os inimigos durante a guerra alavancou a aerofotogrametria e o sensoriamento remoto como ciência.

Em meados da Segunda Guerra Mundial foi produzido o primeiro VANT radio-controlado pela *Radioplane Company* chamado de RP-1, que viria a ser posteriormente atualizado e rebatizado como OQ-3. Este modelo teve mais de 9400 vendidas nos EUA durante a guerra, tendo sido reatualizado diversas vezes e utilizado para fins bélicos durante a Guerra do Vietnã no final da década de 40 até meados da década de 50 (LONGHITANO, 2010).

Em 1977 o engenheiro aeroespacial Abraham Karem construiu o primeiro drone o que viria a servir de inspiração para os modelos tecnológicos atuais. Alguns problemas foram notados rapidamente, principalmente na questão logística, já que eram necessários quase 30 técnicos para operar o drone, vendo isto ele decidiu fundar a *Leading Company* e utilizando alguns recursos tecnológicos como fibras de vidro e madeira deu origem ao modelo de VANT nomeado como *Albatross* (Figura 2).

Figura 2: modelo Albatross.



Fonte: <http://store.appliedaeronautics.com/albatross-uav-ready-to-fly/>. Acessado em: 08 de out de 2019.

No final da década de 50 durante a guerra fria a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial dando início a corrida espacial contra os Estados Unidos. Este fato foi um marco muito importante para o sensoriamento remoto, pois começaram a ser produzidas as primeiras imagens de satélite com o intuito de se observar o território inimigo. Apesar de ser uma tecnologia incrível em vários aspectos, as imagens orbitais possuem algumas limitações como a dependência do orbital do satélite e das condições atmosféricas do lugar alvo (LONGHITANO, 2010).

Na década de 60 surgiu a fotogrametria analítica com a introdução dos computadores, mas foi nos anos 90 que as primeiras fotografias começaram a ser digitalizadas utilizando novos *softwares* dando início a fotogrametria digital. Nisso é possível classificar o avanço da aerofotogrametria em três vertentes de acordo com Silva (2015) que são a analógica, analítica e a digital.

Deste modo Jensen (2009) destaca a necessidade de se obter imagens aéreas de alta resolução sem depender da aerofotogrametria convencional e das imagens orbitais justificando assim a importância dos drones nos dias de hoje. Além disso os drones possuem empiricamente inúmeras vantagens como não necessitar de tripulação, ter um baixo custo de manutenção e uma logística positiva de transporte.

3.2.2 Tipos de drones, atributos técnicos e aplicações no mapeamento ambiental

Os drones podem ser subdivididos em dois tipos: os de asa fixa e os multirrotores. Os drones de asa fixa são conhecidos por possuírem uma maior autonomia de voo, pois possuem uma maior sustentação e demandam uma quantidade menor de energia para se manter em atividade, já por outro lado, os drones multirrotores tem a capacidade de realizar decolagens verticais o que lhes confere a capacidade de acessar áreas restritas e remotas com maior facilidade (BORGES *et al.*, 2017).

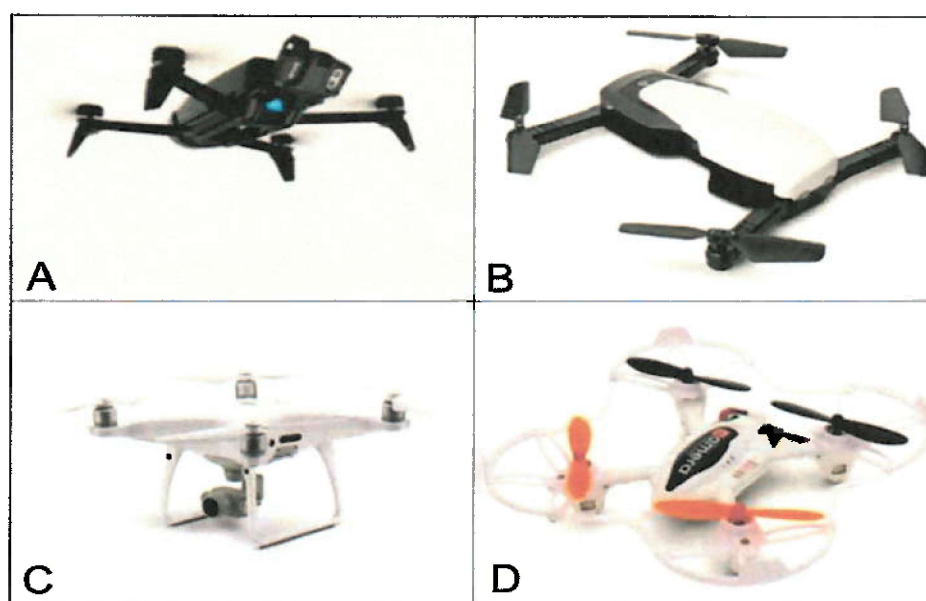
Para fins de comparação e de conhecimento foram selecionadas algumas das mais importantes características de alguns dos mais utilizados drones multirrotores no mercado: G Q45, Phantom 4 Advanced Pro, Parrot Bebop Pro Thermal e Hexacóptero Seeker (Quadro 5 e Figura 3).

Quadro 5: especificações técnicas de alguns drones utilizados em mapeamentos ambientais e inspeções de segurança. OBS: as células marcadas com um "X" não foram encontradas e/ou não tem seu valor reconhecido.

Drone	G Q45	Phantom 4 Advanced Pro	Parrot Bebop Pro Thermal	Hexacóptero Seeker
Voo automático	Sim	Sim	Sim	Sim
Decolagem	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Autonomia em missão	45 min	24 min	24 min	30 min
Área coberta/ voo	250 ha (300 metros de altitude)	150 ha (300 metros de altitude)	X	X
Velocidade máxima	35 km/h	5 km/h	35 km/h	35 km/h
Peso	2,8 kg	1,368 kg	0,6 kg	9,9 kg
Envergadura	0,64 m	0,28 m	0,28 m	1,67 m
Redundância controle	Sim	Não	Não	Sim

Câmera	Canon 20 MP	Sensor 1º CMOS RGB 20 MP	RGB 14 MP + Thermal Fire One Pro	HZ10 zoom 10x Full HD Fotos 14 MP
Aplicação	Mapeamento	Mapeamento	Segurança e inspeções	Segurança e inspeções

Figura 3: A: Parrot Bebop Pro Thermal, B: G Q45, C: DJI Phantom 4 Advanced Pro e D: Hexacóptero Seeker.



Fonte: <https://www.dronedireto.com.br/drone-parrot-bebop-pro-thermal>, acessado em 23 de abr. de 2021. <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro>, acessado em 23 de abr. de 2021. <https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2016/09/drone-com-camera-conheca-aparelhos-mais-baratos-venda-no-brasil.html>, acessado em 23 de abr. de 2021.

Estes drones podem ser enquadrados na classificação de multirrotores por possuírem mais de 4 motores. Dentre os drones multirrotores é possível fazer a separação de acordo com o número de motores que estes possuem sendo o quadricópteros (quatro motores), hexacópteros (seis motores) e octacópteros (8 motores). A principal diferença entre eles está na estabilidade e na capacidade de carga sendo que estes parâmetros são melhorados proporcionalmente ao número de motores que estes VANTs contêm.

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), chamados popularmente de drones estão sendo cada vez mais utilizados, seja para fins de espionagem, bélicos, e até mesmo para entretenimento. No entanto, a alguns anos vem cada vez mais

ocupando seu espaço em pesquisas acadêmicas seja por iniciativa pública ou financiamento privado (FLOREANO *et al.*, 2015).

Longhitano (2010) destacou diversos pontos positivos do drone para trabalhos de sensoriamento remoto e obtenção de fotos aéreas para fins científicos. As principais vantagens encontradas são o baixo custo para a obtenção de fotos aéreas, alta flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial, menor gasto com mão de obra especializada, facilidade de geração do Modelo Digital de Terreno, entre outras.

Lozano *et al.* (2016) fizeram um levantamento geral sobre as diversas aplicações dos drones na área da geologia destacando diversos tipos de sensores e aparelhos. Segundo os autores os drones podem ser empregados para obtenção de dados em afloramentos, cálculos e análises de parâmetros na superfície terrestre (topografia) e o estudo das formas de relevo (geomorfologia).

Diversos métodos como a aerofotogrametria SfM (*Structure From Motion*) que permite a elaboração de um MDT para missões em ambientes urbanos e vegetados excluindo todo tipo de edificação ou vegetação através de nuvens de pontos. Para a geologia este método é muito efetivo pois permite a execução de medidas qualitativas e quantitativas; como medidas de área, volume e até mergulho e direção de camadas podendo colaborar para medidas de deformação para geologia estrutural. O método *LiDAR (Light Detection and Ranging)*, por outro lado, permite uma diferenciação de diversas entidades através de um *laser* com diversos comprimentos de onda realçando a característica alvo do trabalho sendo de grande utilidade para a geotecnia e para estudos sobre a tectônica do planeta Terra (LOZANO *et al* 2016).

Koh *et al* (2012) propuseram a utilização de Drone de Conservação para mapear o desmatamento de coberturas vegetais no Parque Nacional de *Gunung Leuser* na ilha de Sumatra na Indonésia, partindo da premissa da utilização de instrumentos de baixo custo e com bastante efetividade. Os autores executaram 32 missões com os drones destacando uma missão em área degradada, outra em uma área florestada e outra sobre um canal de um rio; através dessas missões foi possível destacar a boa visualização do uso e ocupação da terra, atividade humana e também conclusões a respeito da biodiversidade local. Destaca-se, no entanto, a dificuldade do VANT de manter um caminho com ventos muito fortes causando complicações no ortomosaico final.

Gramani *et al.* (2018) destacaram o drone como o instrumento de seu trabalho na obtenção de fotos aéreas de acidentes geológicos-geotécnicos na região de Caraguatatuba. O autor pôde caracterizar claramente deslizamentos de terra na região, obtendo a medida da área das cicatrizes e estipulando o volume de material deslocado em ambiente SIG. A partir destes resultados concluiu-se que os drones, através da praticidade de seu uso, podem facilitar na tomada de decisões em casos de emergência, como o pressuposto nas Cartas SAO e no planejamento de ações de emergência e mitigação.

Ressalta-se, então, que o drone é um excelente instrumento de pesquisa para profissionais e pesquisadores nas áreas de geologia, geotecnia e ambiental, quando comparado aos antigos serviços de aerofotogrametria. Cabe ressaltar, também, a importância dos trabalhos e consultas de campo que permitem uma análise mais detalhada sobre parâmetros de grande influência nos impactos ambientais associados aos vazamentos de óleo.

É de comum senso a importância do uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a organização de informações territoriais através da separação temática dos dados, preparando mapas para os mais diversos meios de forma simples, clara e acessível para a população. Nas Cartas SAO o SIG é aplicado para a classificação multicritério de diversos parâmetros do ISL, ponderando a interação entre os principais fatores geológicos, geomorfológicos e biológicos no tempo de permanência do óleo e qual o impacto sobre a biota local.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Clima

Os municípios de Caraguatatuba e Ubatuba se localizam no litoral norte de São Paulo situados próximos ao Trópico de Capricórnio. Por este motivo, predomina na região, o clima Subtropical Úmido da classificação de Köppen-Geiger (Cfa), caracterizado por uma diminuição das chuvas no inverno e um aumento no verão devido ao início da atividade da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) (ALVARENGA, 2012). Outro fator que influencia no aumento das chuvas é a topografia da região serrana, onde ocorrem chuvas orográficas devido ao aumento considerável da altitude desta região (SANT'ANNA NETO; NERY, 2005).

A temperatura nesta região é basicamente constante durante todo o ano, com uma média um pouco superior aos 20°C, sem estação seca e com umidade superior aos 80% (COSTA, 2010).

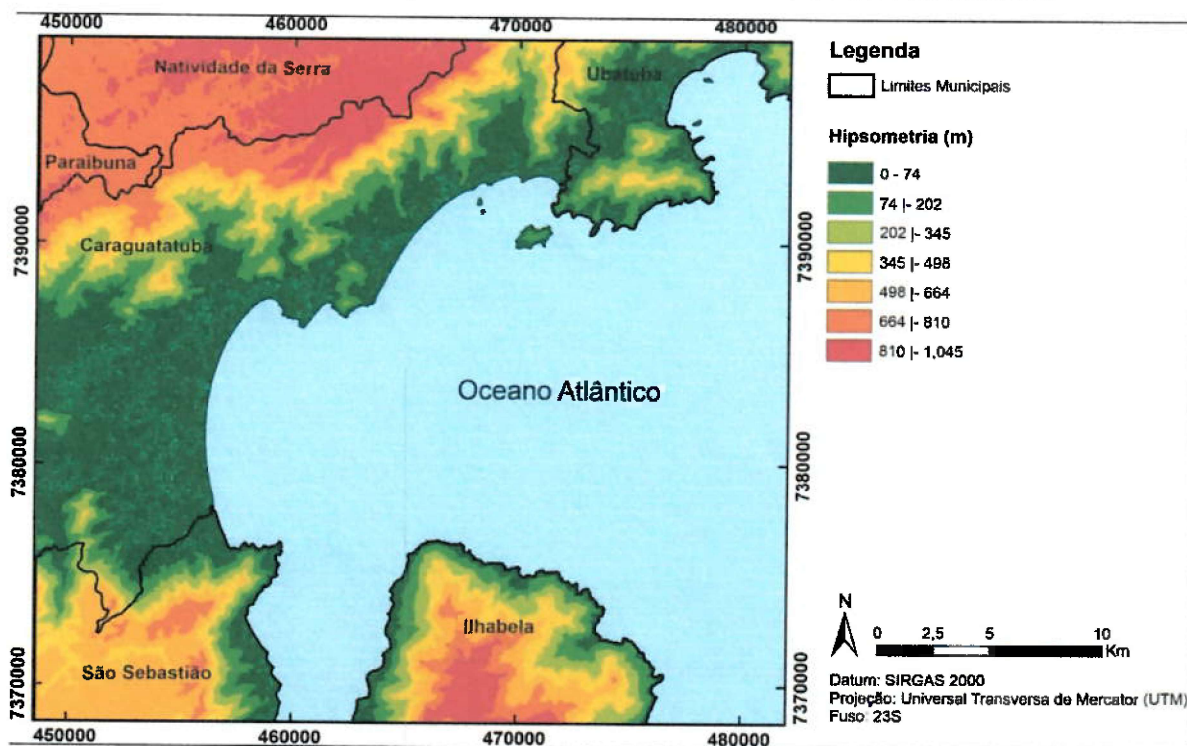
4.2 Geomorfologia

Em termos geomorfológicos esta região está inserida no Planalto Atlântico e na Província Costeira na Serra do Mar Paulista (ALMEIDA, 1964). O litoral norte do estado de São Paulo possui uma característica bastante peculiar que o difere da parte sul, onde as estruturas geológicas moldam um contorno de costa com diversas enseadas separadas por costões rochosos mais resistentes, estas estruturas são perpendiculares a linha de costa o que colabora na formação de pequenas baías (ALMEIDA, 1964). A Baía de Caraguatatuba, no entanto, pode ser considerada exceção, pois possui uma grande planície de sedimentação onde a linha de costa chega a ter 12 km de distância das escarpas e uma abertura de até 10 km (GOBBI, 2009). Este fato se dá devido à estruturação geológica e de uma intrusão alcalina em Ilha Bela, que permitem uma elevada taxa de sedimentação na área (GOBBI, 2009).

O relevo desta área pode ser separado em duas compartimentações que é a Serrania Costeira e a Zona de Baixada Litorânea (ALMEIDA, 1964). A serrania Costeira possui uma grande amplitude altimétrica chegando até a 1200 metros, possuindo um relevo bastante dissecado com vales encaixados e encostas retilíneas

com uma alta densidade de drenagens associadas à falhas, fraturas e contatos litológicos. Por outro lado, a Zona de Baixada é onde ocorrem os processos de sedimentação litorâneo com um relevo relativamente plano e cotas inferiores a 70 metros (Figura 4) (MOROZ, 1974 *apud* CORRÊA, 2018).

Figura 4: mapa hipsométrico do Litoral Norte de São Paulo mostrando a diferença altimétrica na transição entre a Serrania Costeira e a Zona da Baixada.



Fonte: elaborado em ArcGIS.

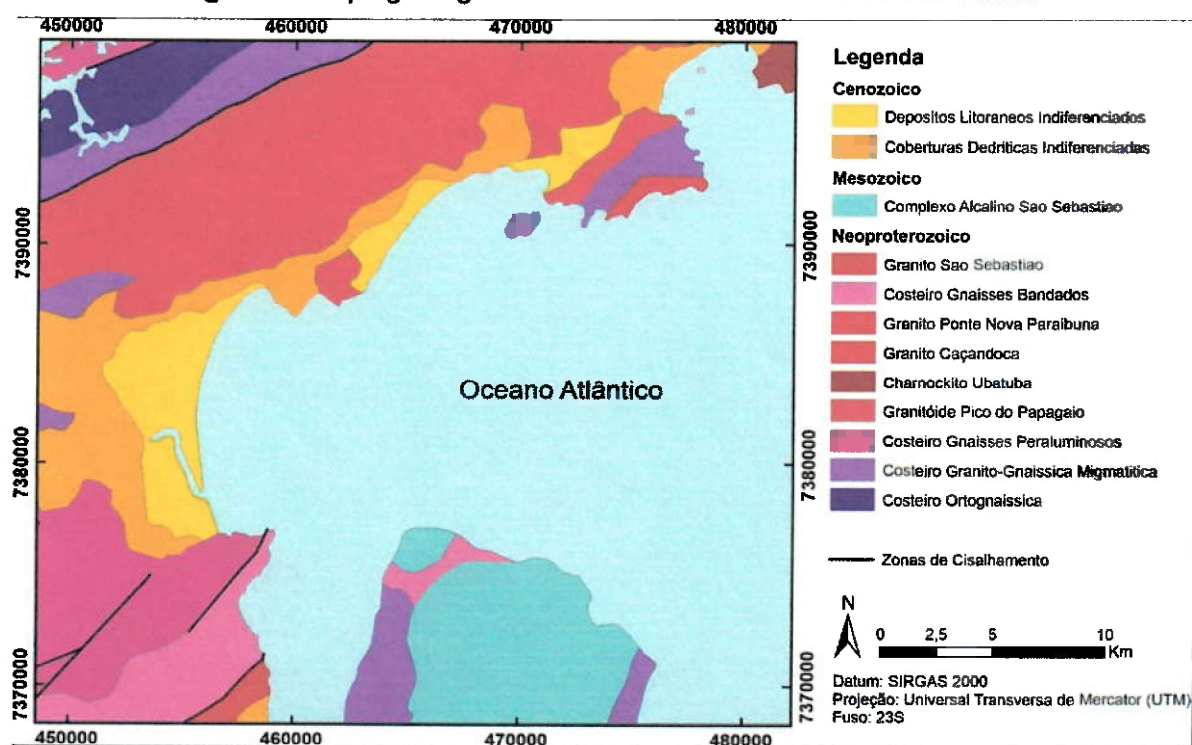
4.3 Geologia

Geologicamente esta região se insere dentro do contexto da Província da Mantiqueira, sendo parte da faixa móvel neoproterozoica Ribeira (ALMEIDA *et al.*, 1977). Dentro da Faixa Ribeira existem diversas unidades (Figura 5), dentre elas está o Complexo Costeiro, onde se encontra os municípios de Caraguatatuba e Ubatuba (SP) (NEVES *et al.*, 2004).

A região das escarpas possui unidades litológicas neoproterozoicas do embasamento cristalino compostas por gnaisses, biotita-gnaisses e migmatitos relacionados ao Complexo Costeiro, rochas paraderivadas anatéticas do Complexo Paraibuna de idade mesoproterozoica e alguns granitoides de idade

paleoproterozoica (CPRM, 1982). A região da Baixada apresenta depósitos cenozoicos com sedimentos coluvionares, fluviais e de fácies de praia (CPRM, 1982). O quadro estrutural desta região se configura em um *trend* SW-NE, sendo a falha Bertioga-Caraguatatuba um exemplo desta tendência (CPRM, 1982). A região de Caraguatatuba está dentro de uma região geológica chamada de Compartimento Litorâneo sendo delimitado pelas falhas de Cubatão e Taxaquara e associada à Zona de Cisalhamento São Paulo (HASUI *et al.*, 1978).

Figura 5: mapa geológico do Litoral Norte do Estado de São Paulo.

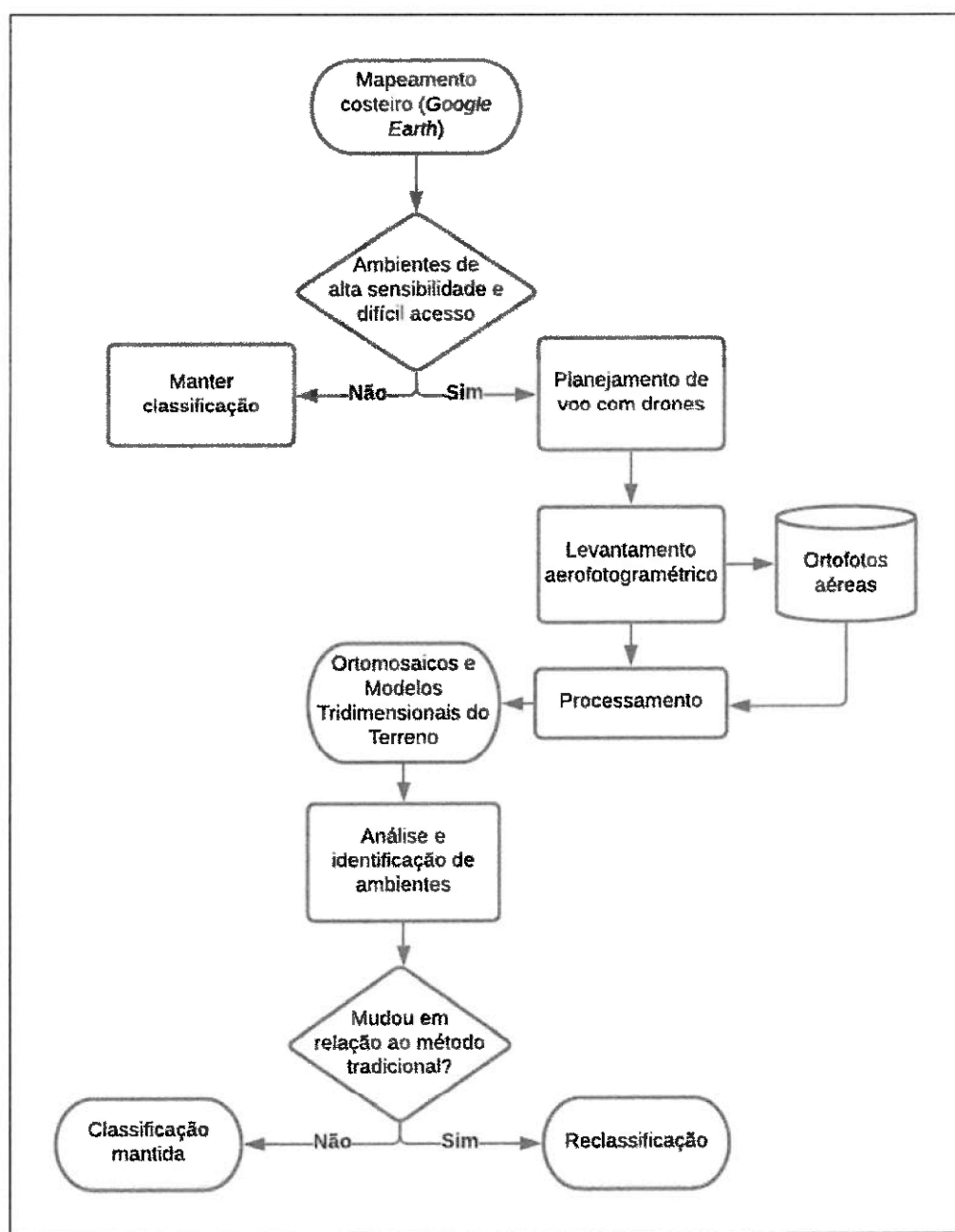


Fonte: elaborado em ArcGIS.

5 MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

Os métodos e etapas desta pesquisa seguiram os seguintes procedimentos, conforme exemplificado no fluxograma (Figura 6). As etapas de trabalho são descritas logo abaixo.

Figura 6: fluxograma das etapas, resultados e decisões tomadas na execução deste trabalho.



Fonte: elaborado em CorelDRAW.

5.1 Obtenção da sensibilidade dos ambientes costeiros de Caraguatatuba e Ubatuba-SP de UNESP (2020) e seleção das áreas-alvo para definição dos planos de voo

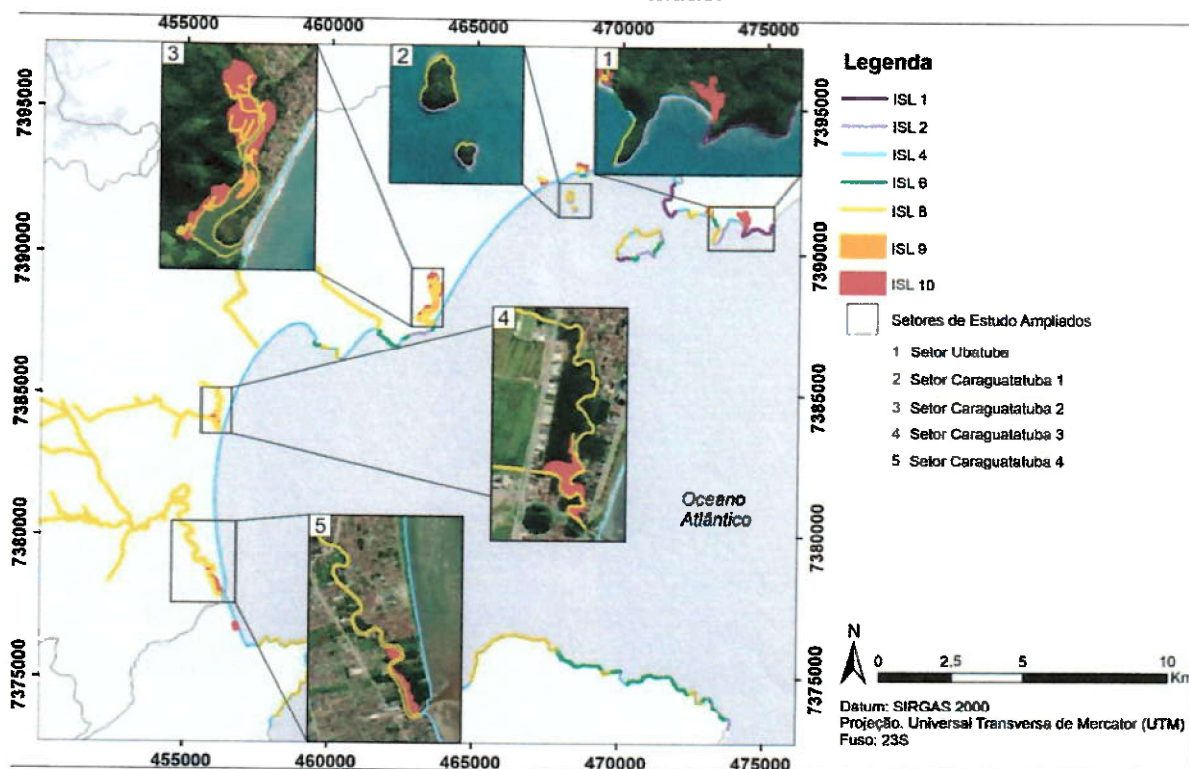
Para avaliar o uso do drone como ferramenta no mapeamento dos ambientes litorâneos foram obtidos os *shapefiles* provenientes do mapeamento com Google Earth e outras plataformas orbitais feito por UNESP (2020) com base na tabela padronizada por MMA (2004). Estas informações são bastante úteis para comparar com os resultados obtidos a partir do levantamento aerofotogramétrico com o drone.

Existem alguns ambientes nesta região onde houve certa dificuldade de detalhamento, seja pela acessibilidade precária em campo ou pela distinção limitada relacionada as imagens provenientes de plataformas orbitais. Por isso foram selecionadas oito pequenas linhas de costa que se encaixam nestas características para se fazer o levantamento aéreo.

Posteriormente, através do Google Earth, foram feitos oito KMLs (*Keyhole Markup Language*) contendo os ambientes que obedecem aos critérios supracitados. Estes arquivos foram posteriormente encaminhados a empresa GDrones que levou estes arquivos ao software/aplicativo DroneDeploy, utilizado para programar o voo automático do drone sobre as áreas de estudo.

Como estas áreas são muito pequenas em relação à toda região mapeada pelo projeto, foi feita uma separação em cinco setores. O primeiro setor mais a nordeste é referido como Setor Ubatuba e se difere dos outros por conter três áreas de levantamento. Os outros setores são referidos como Caraguatatuba 1, 2, 3 e 4 e possuem apenas um levantamento cada (Figura 7).

Figura 7: classificação ISL de UNESP (2020) com ampliação dos setores que contém as áreas alvo. O setor mais a nordeste se encontra dentro de Ubatuba e possui três faixas de costa levantadas.



Fonte: elaborado em *ArcGIS* com edições em *CorelDRAW*.

5.2 Levantamento aerofotogramétrico com VANT

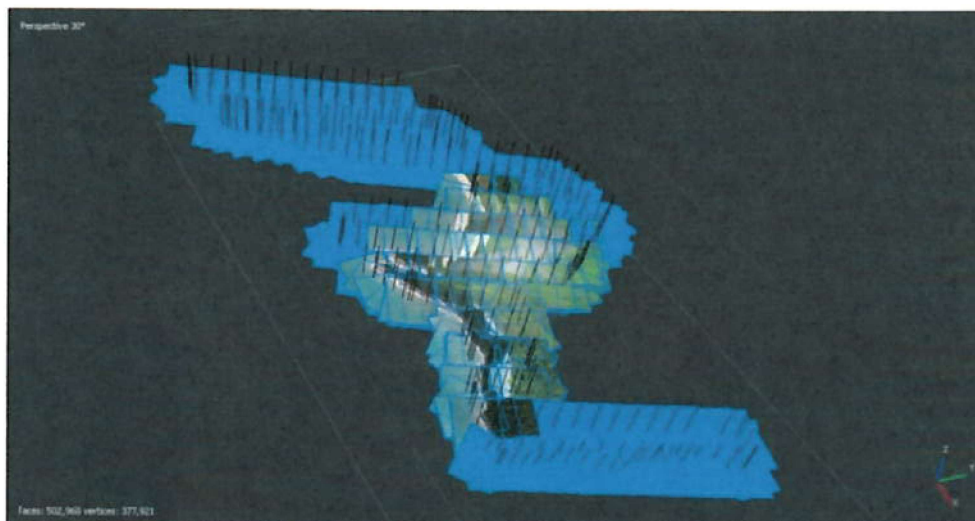
Em campo realizado em novembro de 2020 foram feitas as missões para obtenção das fotos aéreas a partir do modelo VANT multirrotor quadricóptero DJI Phantom 4 Pro com o auxílio da empresa GDrones. Estas missões foram feitas seguindo os planos de voo elaborados anteriormente e resultaram num total de 1643 ortofotos processadas e sobrepostas para geração dos oito ortomosaicos desejados.

5.3 Processamento das ortofotos e geração dos ortomosaicos de alta resolução

Primeiramente as ortofotos foram importadas para o software Agisoft Metashape para se fazer o alinhamento e georreferenciamento das imagens (Figura

8). Este processo foi feito por meio da fototriangulação e gerou uma nuvem de pontos com um sistema de coordenadas definido no terreno (Figura 9).

Figura 8: alinhamento e georreferenciamento das ortofotos aéreas.



Fonte: retirado do software *Agisoft Metashape*.

Figura 9: nuvem de pontos obtida da região costeira do Setor 1 deste trabalho, contendo 3 ortomosaicos em análise.



Fonte: retirado do software *Agisoft Metashape*.

Depois de gerada a nuvem de pontos, foi feita a densificação, processo no qual, o software preencheu os vazios para melhorar a visualização das áreas mapeadas (Figura 10).

Figura 10: nuvem densificada de pontos.



Fonte: retirado do software *Agisoft Metashape*.

Por fim, foi gerado o modelo tridimensional (Figura 11) do qual foi possível se obter os modelos digitais de superfície, de elevação e de terreno, assim como o mosaico ortorretificado. A partir dos modelos digitais se torna possível visualizar a declividade do terreno. Com o mosaico ortorretificado é possível se ter imagens sobrepostas de alta resolução que permitiram a interpretação de ambientes costeiros e definição de seus ISLs.

Figura 11: modelo 3D feito a partir de texturização e suavização das formas.



Fonte: retirado do software *Agisoft Metashape*.

5.4 Análise dos ambientes costeiros através dos ortomosaicos

A última etapa foi a análise dos ortomosaicos e das ortofotos obtidas após o processamento das imagens. Foi feita a identificação dos ambientes costeiros e proposta uma reclassificação dos ISLs pela metodologia de MMA (2004) comparando com os resultados obtidos anteriormente pela análise de imagens de plataformas orbitais. A classificação que foi utilizada neste trabalho está presente no Quadro 2 apresentado anteriormente na seção 3.1.1 deste trabalho.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão discutidos as diferenças encontradas entre os resultados obtidos através de imagens de satélite e os resultados obtidos através da análise dos ortomosaicos de alta resolução.

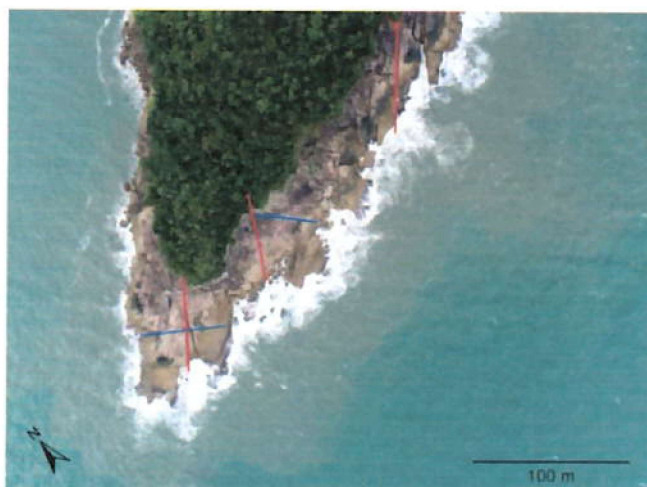
6.1 Setor Ubatuba

6.1.1 Faixa Costeira 1

Esta área foi escolhida com base no critério de falta de acessibilidade, ou seja, a impossibilidade de se fazer campanhas de campo para se detalhar feições que podem permitir uma classificação ambiental diferente. De acordo com a classificação obtida através de análise via *Google Earth/ArcGIS* esta região possui um ISL equivalente a 1, ou seja, a menor sensibilidade ambiental possível em relação aos impactos ambientes provenientes de um vazamento de óleo.

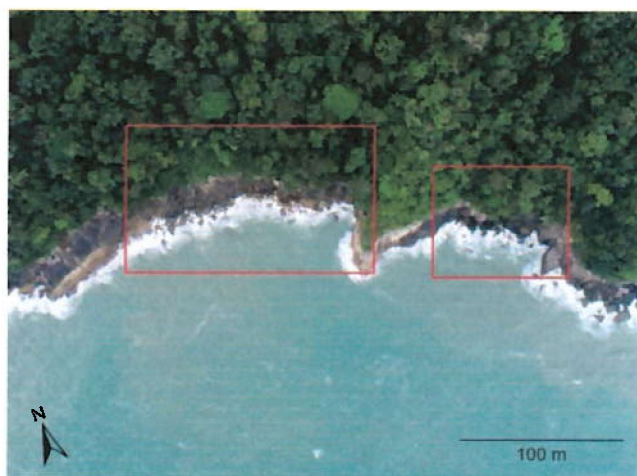
Através da análise do ortomosaico de alta resolução e das ortofotos é possível notar a predominância de uma costa rochosa lisa bastante fraturada marcando um padrão em cruz (Figura 12) com uma direção preferencial para NE-SW e outra secundária para NW-SE que ao se comparar com a literatura bate com a direção preferencial das estruturas geológicas na Faixa do Ribeira. Em algumas regiões existe a presença vários matacões caídos que foram provavelmente desprendidos do maciço (Figura 13).

Figura 12: ortofoto de drone mostrando orientada e escalada mostrando com linhas vermelhas a orientação principal das fraturas e em azul as secundárias.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

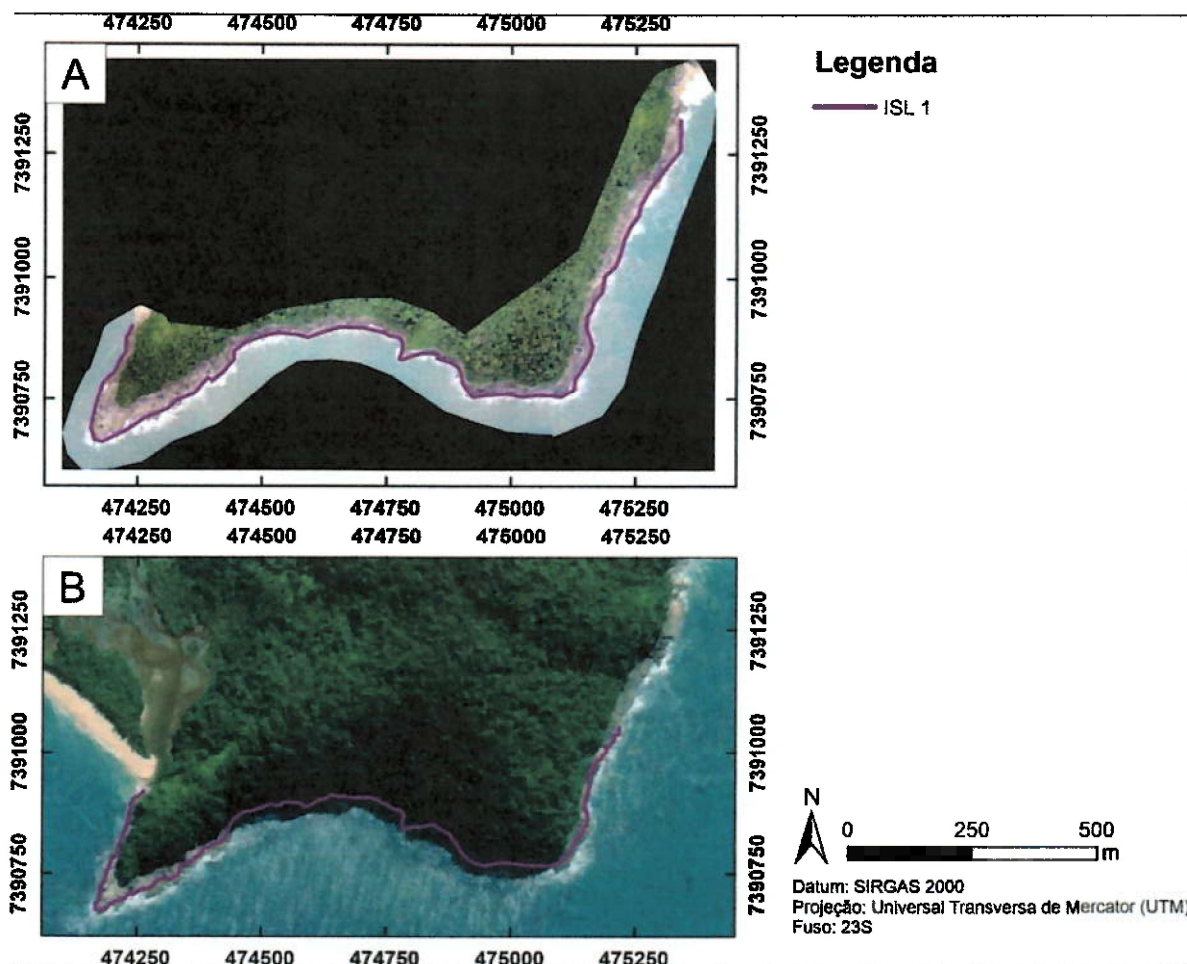
Figura 13: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando quedas de blocos em regiões costeiras de alta declividade e expostas.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Através da análise do Modelo Tridimensional no *Agisoft Metashape* pode-se confirmar que se trata de uma área de alta declividade, que um fator muito importante para se poder classificar o ambiente costeiro quanto a sua sensibilidade ao óleo. Juntando todas as informações coletadas nestas análises se conclui que a Faixa Costeira 1 possui em sua totalidade o ISL 1 (MMA, 2004), por se tratar de costão rochoso liso com algumas fraturas, ter alta declividade, além de estar exposto à ação das ondas. Neste sentido, não sofreu alteração em relação a classificação inicial estabelecida (Figura 14).

Figura 14: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.1.2 Faixa Costeira 2

Esta área foi escolhida com base no critério de alta sensibilidade, ou seja, é uma área classificada como sendo muito sensível aos impactos ambientais gerados pelo vazamento e contaminação por óleo. De acordo com a classificação obtida através da análise via *Google Earth/ArcGIS* (UNESP, 2020) esta região se enquadra na categoria 10.

Esta área se trata da Praia da Lagoa, que fica ao sul dos limites municipais de Ubatuba-SP. É uma área turística, o que configura um cenário muito sensível a poluição, principalmente a contaminação por óleo, sendo este considerado um dos ambientes mais sensíveis da cidade de Ubatuba-SP (ROCHA, 2008).

De acordo com as ortofotos é possível notar a diferença na tonalidade entre as águas da laguna e as do oceano. As águas da laguna possuem uma coloração mais escura típica de ambientes de água parada e de baixa energia (Figura 15). Segundo Rocha (2008) se trata de um ecossistema bastante rico em espécies de peixes, anfíbios e répteis, além de ter uma grande comunidade de algas. Devido a esta riqueza em biodiversidade a laguna é um ambiente altamente sensível a contaminação.

Figura 15: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o contraste entre as águas do oceano e da laguna.

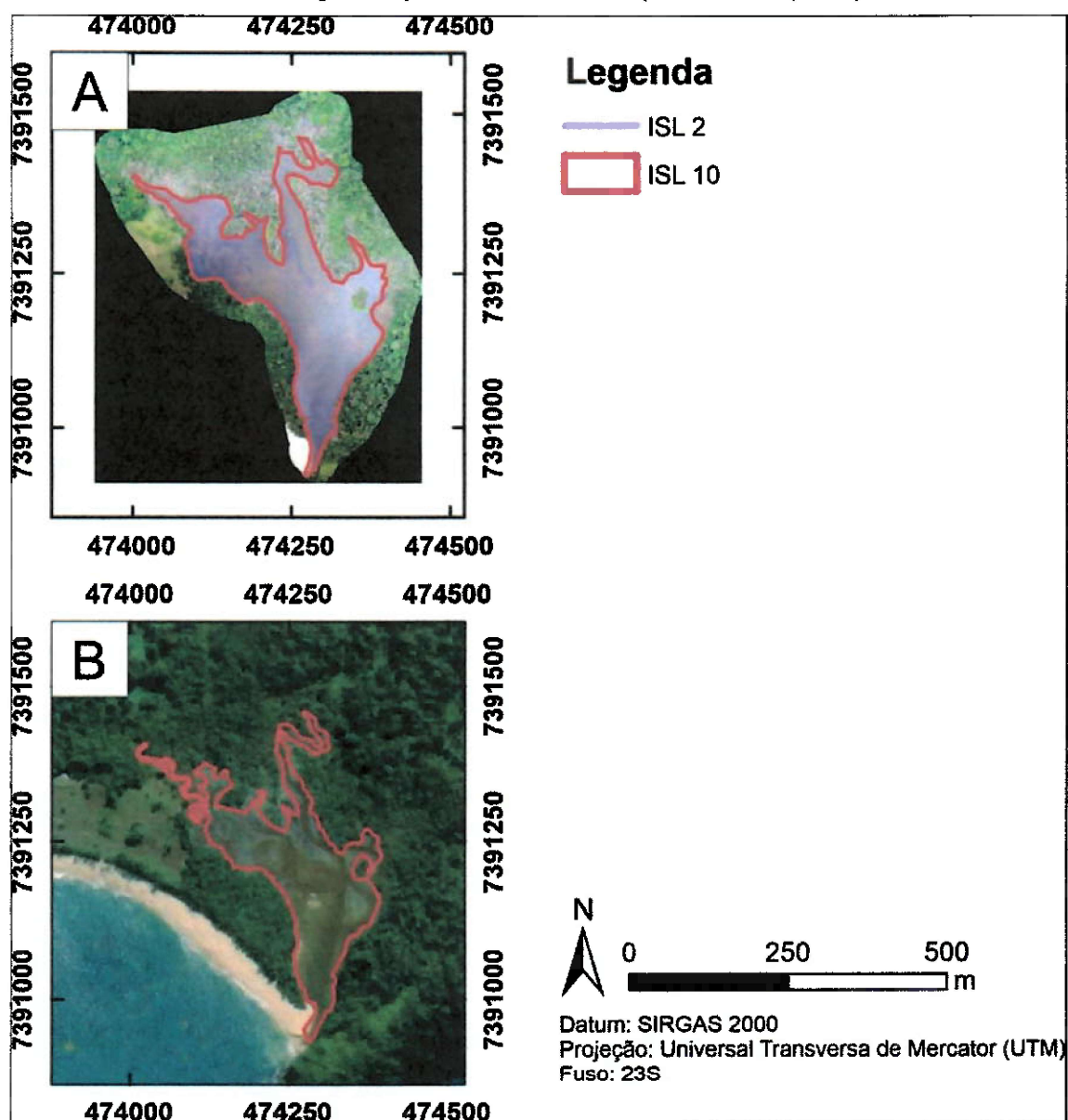


Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Através da análise do Modelo Tridimensional no *Agisoft Metashape* se confirma que esta área é plana, sendo este um fator que eleva sua sensibilidade ambiental ao óleo. Quanto ao grau de exposição a laguna é um ambiente abrigado que não é comumente afetado pela ação das ondas, sendo este outro fator que eleva sua sensibilidade ambiental ao óleo.

A análise final do ortomosaico (Figura 16) não apresentou, desta forma, alterações em relação ao mapeamento realizado com os métodos convencionais, no entanto houve uma melhor resolução para reconhecimento de algumas feições na vegetação local. A região, contudo, manteve em sua totalidade o ISL 10, o máximo possível da escala padronizada. Entretanto, houve um incremento na área ocupada pela laguna em relação a classificação anterior, o que pode ocorrer devido a sazonalidade e a subida da maré.

Figura 16: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.1.3 Faixa Costeira 3

Esta área foi selecionada seguindo o critério de falta de acessibilidade, além de ter sido classificada com dois ISLs diferentes através da imagem de satélite, sendo estes 2 e 8 (UNESP, 2020).

Através da análise das ortofotos e do ortomosaico de alta resolução é possível perceber que se trata de uma região costeira rochosa com uma pequena faixa de

areia, contudo, a rocha nesta área se apresenta com uma aparência mais distinta em relação a presente no primeiro ortomosaico, pois não apresenta muitos fraturamentos e aparenta ser mais lisa (Figura 17). Há indícios, também, de uma grande hidrodinâmica devido a constante quebra das ondas do lado direito. Do lado esquerdo se nota uma diminuição dessa hidrodinâmica e um aumento na heterogeneidade da rocha a qual apresenta alguns matacões deslocados e alguns fraturamentos. Existe também nessa área uma pequena faixa de areia conhecida popularmente como praia mansa localizada mais a noroeste da foto que foi classificada com ISL 4 (UNESP, 2020).

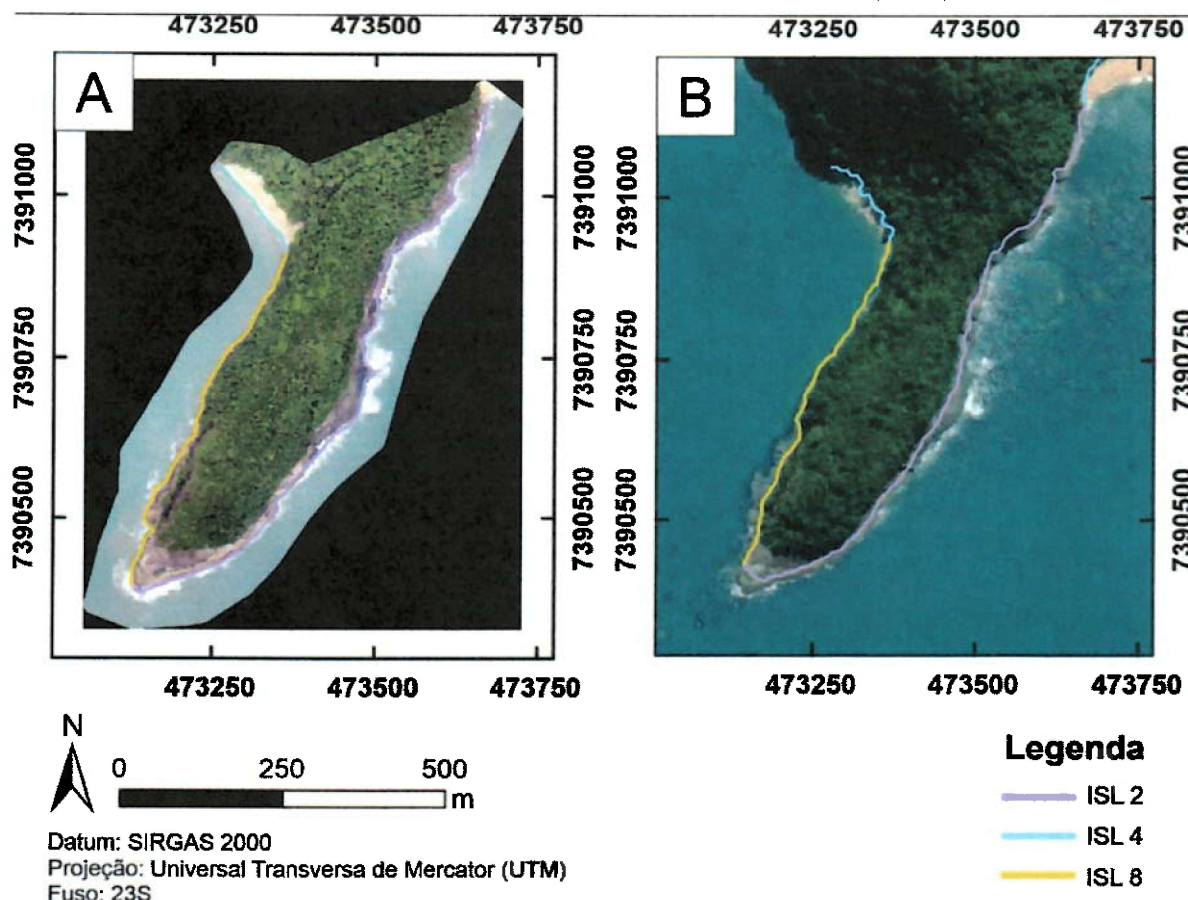
Figura 17: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando do lado direito um maciço liso e exposto e um maciço mais fraturado e com alguns matacões do lado esquerdo.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Do lado esquerdo, no entanto, não é muito claro inferir qual o grau de exposição destes ambientes costeiros e devido a isso se mantém a classificação original das imagens de satélite com ISL 8 para o costão e ISL 4 para a pequena praia (Figura 18). Através da análise do Modelo 3D se nota que a declividade nesta área não é tão acentuada quanto na primeira e este fator eleva sua sensibilidade ambiental em relação ao óleo, permitindo a classificação ISL 2.

Figura 18: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.2 Setor Caraguatatuba 1

Os ortomosaicos 4 e 5 foram selecionados através do critério de falta de acessibilidade, pois se tratam de duas pequenas ilhas rochosas localizadas ao norte do município de Caraguatatuba, as quais são denominadas de ilhas da cocanha. De acordo com a análise das plataformas orbitais, estas ilhas apresentaram classificações ISL 2 e 8, sendo os ambientes correspondentes ao ISL 2 os seguintes: costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos; Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.).

Através das ortofotos se nota um padrão de fraturamento bastante evidente e semelhante com o encontrado no ortomosaico da Faixa Costeira 1 do Setor Ubatuba o que coincide com a geologia regional da área (Figura 19).

Figura 19: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando em vermelho as fraturas com direção NE-SW e em azul as fraturas NW-SE.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Na ilha maior os costões não apresentam tanto fraturamento como na ilha menor, mas é possível notar várias áreas onde existem alguns matacões desprendidos do maciço principal. Existem também na ilha maior duas pequenas faixas de areia que são muito difíceis de se enxergar através das imagens de satélite de plataformas orbitais (Figuras 20 e 21).

Figura 20: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando em vermelho a pequena faixa de areia na Ilha maior da Cocanha.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Figura 21: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando a outra pequena faixa de areia na Ilha maior da Cocanha.

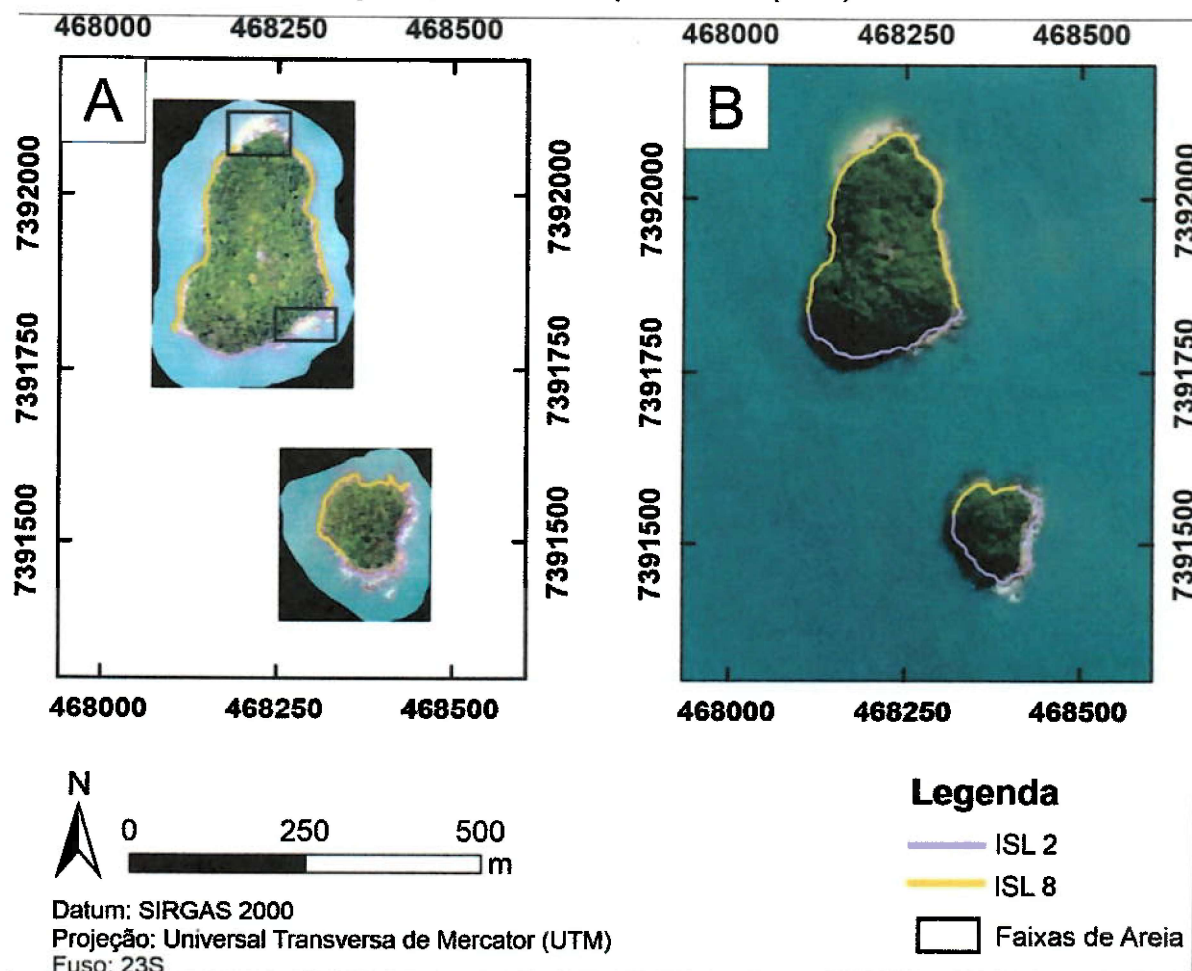


Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Analisando o Modelo 3D no *Agisoft Metashape* pode se notar a declividade relativamente inferior em relação ao ortomosaico 1 e semelhante ao ortomosaico 3 o que gera uma classificação parecida para os seus ambientes rochosos. Existem evidências nestas imagens que os lados das ilhas que estão voltados ao litoral possuem uma menor energia hidrodinâmica o que configura ambientes relativamente abrigados elevando sua classificação.

A classificação ISL (Figura 22) para estas ilhotas sofreu alteração em relação as imagens de satélite, pois com a melhor resolução é possível separar as pequenas faixas de areia dando uma classificação diferente. Contudo, não é possível reconhecer sua granulometria pois como se tratam de pequenas praias seria necessária uma campanha de campo para avaliar seu índice.

Figura 22: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone com destaque as faixas de areia com potencial de estudo de campo; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.3 Setor Caraguatatuba 2

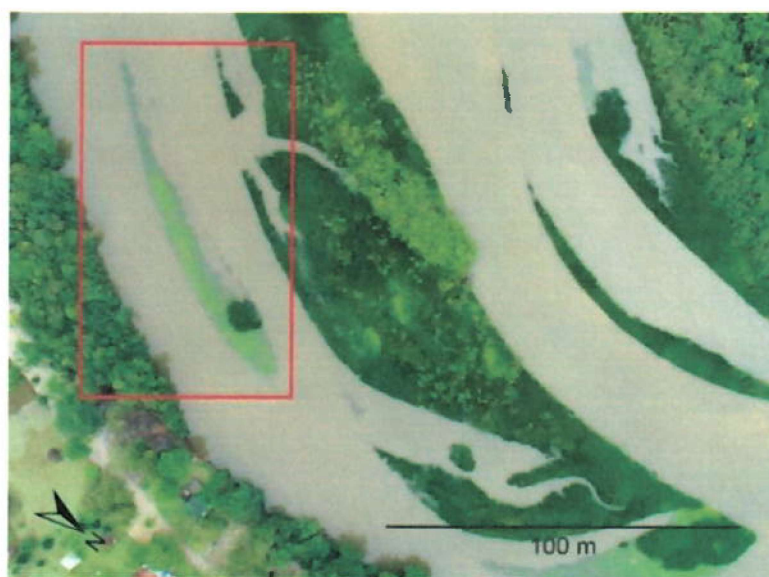
Esta área foi escolhida com base no critério de alta sensibilidade, ou seja, é uma área classificada como sendo muito sensível aos impactos ambientais gerados pelo vazamento e contaminação por óleo. De acordo com a classificação obtida através da análise via *Google Earth/ArcGIS* esta região se enquadra nas categorias 9 e 10.

Esta é uma área bastante conhecida no município de Caraguatatuba-SP, pois dá o nome a uma de suas praias mais visitadas que é a Praia da Lagoa Azul. A Lagoa Azul nada mais é do que uma área alagada formada na baixada pela

intersecção dos Rios Capricórnio e Altos do Getuba. Segundo Pedroso (2014) a Lagoa Azul e seus arredores vem sofrendo com os impactos ambientais causados pela atividade antrópica que se estabeleceu na região, por isso é muito importante uma análise detalhada desta região afim de proteger a rica biodiversidade do local.

Através da análise das ortofotos e ortomosaico foi possível visualizar que se trata de uma área bastante complexa e de grande variedade ambiental de alta sensibilidade. É bastante comum a presença de áreas vegetadas alagadas em suas margens, assim como pequenas áreas úmidas expostas em marés mais baixas que estão localizadas dentro do curso principal do rio, estas áreas foram previamente classificadas como ISL 9 (Figura 23).

Figura 23: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as áreas alagadas pela variação do nível da laguna.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

O ambiente de mais destaque nesta região é, no entanto, as vegetações alagadas localizadas nas margens desta laguna (Figura 24). Esta vegetação possui características típicas de manguezais e se enquadram no nível máximo considerado por MMA (2004).

Figura 24: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as margens vegetadas e alagadas da laguna.

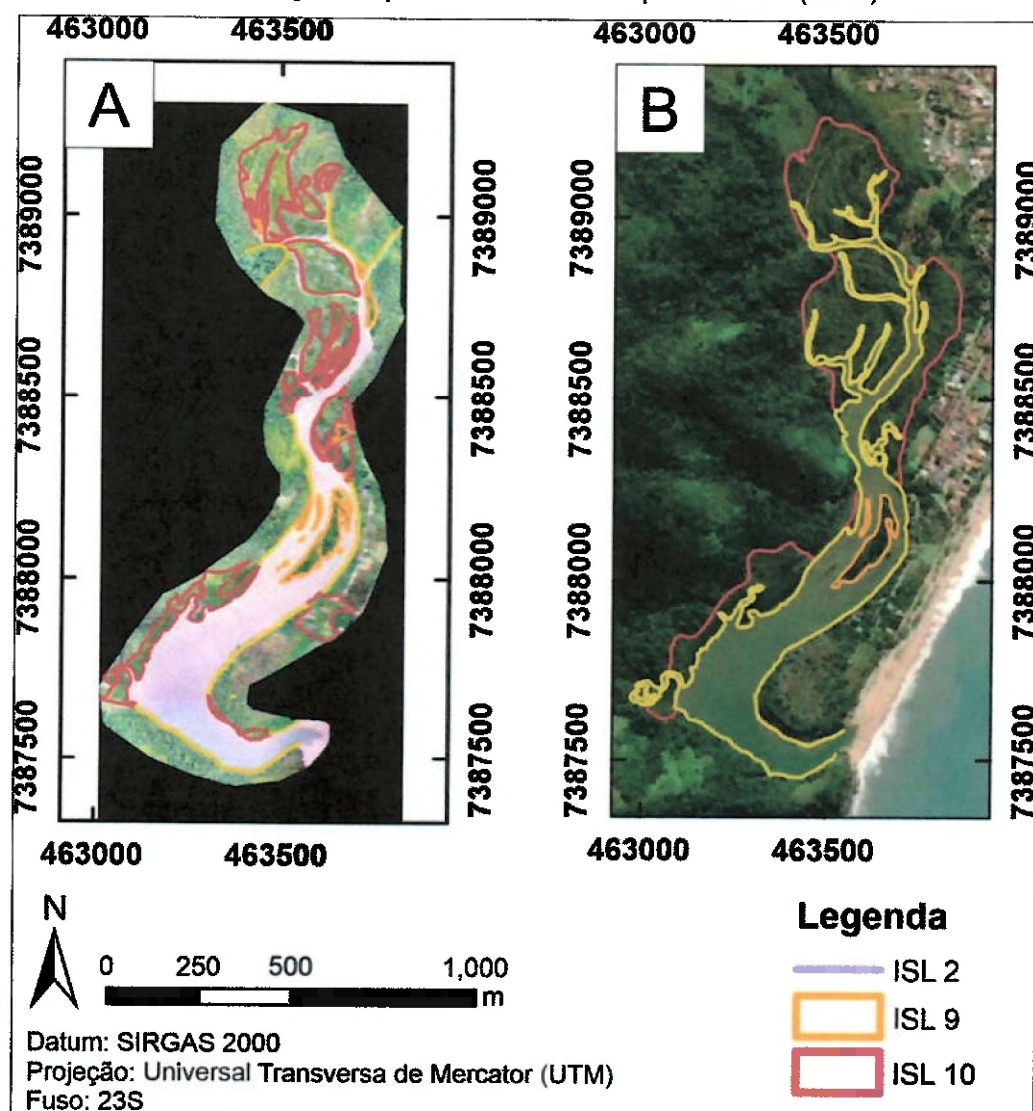


Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Através da análise do Modelo 3D foi possível reconhecer que nas margens desta laguna existem alguns costões rochosos de declividade média/alta que por definição desta área se encontram totalmente abrigados elevando sua classificação em relação a sensibilidade ao óleo. Por outro lado, a área que compreende a laguna e as vegetações de mangue se encontram praticamente no mesmo nível do mar e estão completamente abrigadas da ação do oceano o que eleva sua classificação.

A análise final do ortomosaico (Figura 25) do Setor Caraguatatuba 2 reconheceu com mais detalhe alguns ambientes desta laguna e foi bastante efetivo para sua separação o que melhorou a resolução do ISL para esta área, no entanto, se nota a dificuldade da separação de algumas áreas em que seria necessária uma análise mais detalhada da região.

Figura 25: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.4 Setor Caraguatatuba 3

Esta área foi escolhida com base no critério de alta sensibilidade, ou seja, é uma área classificada como sendo muito sensível aos impactos ambientais gerados pelo vazamento e contaminação por óleo. De acordo com a classificação obtida através da análise de UNESP (2020) esta região se enquadra nas categorias 8 e 10.

Esta área é conhecida como uma área de mangue localizada entre as praias do Indaiá a norte e das Palmeiras a sul. Estas duas praias são separadas por um pequeno ribeirão no qual a vegetação de mangue se forma em suas margens. Esta região é considerada como um Parque Ecológico pela Prefeitura do Município de Caraguatatuba-SP.

Através das ortofotos é possível reconhecer uma vegetação bastante densa nas margens deste ribeirão, além de uma grande proximidade com uma área residencial que se encontra separada do local por uma cerca (Figura 26).

Figura 26: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o contraste da vegetação mais escura com a vegetação mais clara, além do cercamento da área de preservação em relação a área residencial.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Além destas características é importante notar que existe o acúmulo de resíduos sólidos em algumas partes nas margens deste ribeirão indicando uma poluição neste ecossistema (Figura 27).

Figura 27: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando o acúmulo de resíduos sólidos próximos ao leito do ribeirão.

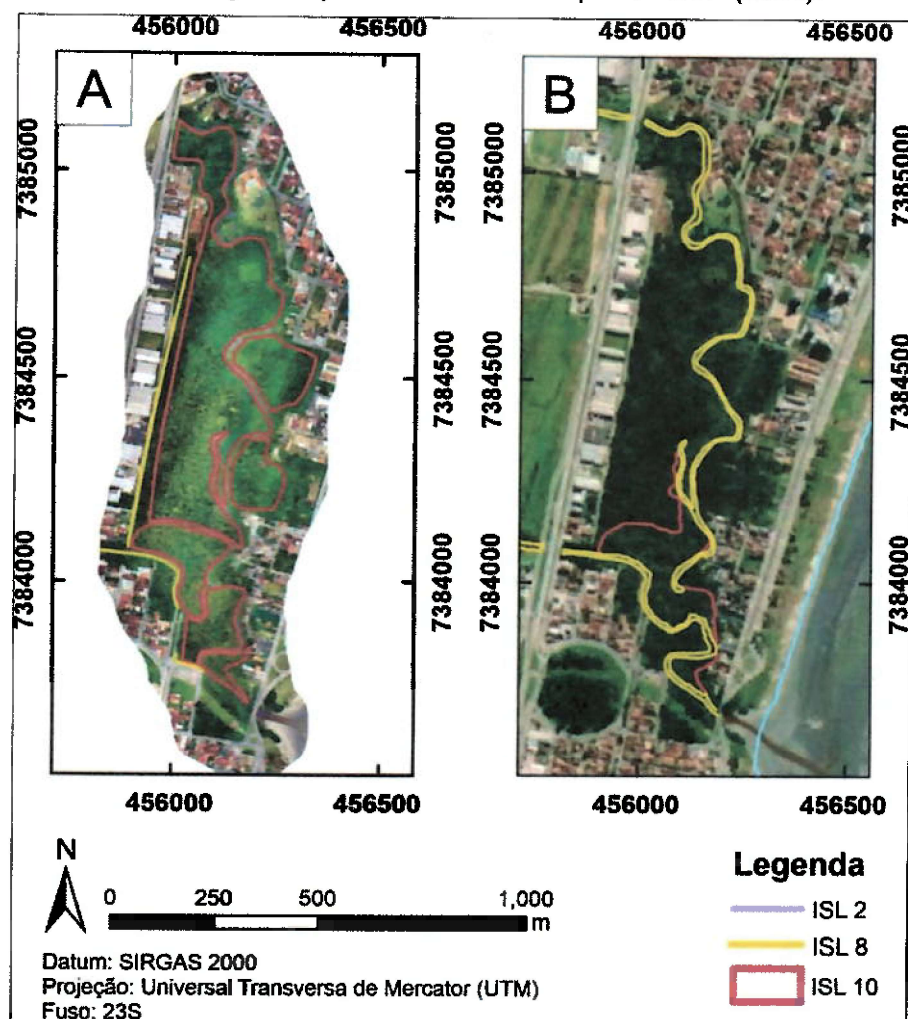


Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Através da análise do Modelo tridimensional pode se notar que trata de uma área alagada de baixa declividade o que favorece a permanência do óleo. Além disso esta é uma região abrigada com um ecossistema bastante diverso, o que se pode confirmar através da análise das ortofotos e do ortomosaico.

A interpretação final deste ortomosaico (Figura 28) sofreu algumas alterações em relação a classificação inicial dada através do método de análise das imagens do Google Earth. Deste modo houve uma maior distribuição das áreas consideradas como manguezais com ISL 10, além do reconhecimento de feições artificiais abrigadas como aterros para a construção de leitos carroçáveis consideradas com ISL 8.

Figura 28: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

6.5 Setor Caraguatatuba 4

Esta área foi escolhida com base no critério de alta sensibilidade, ou seja, é uma área classificada como sendo muito sensível aos impactos ambientais gerados pelo vazamento e contaminação por óleo. De acordo com a classificação obtida através da análise via *Google Earth/ArcGIS* esta região se enquadra nas categorias 8 e 10. Já o ISL 8 tem os seguintes ambientes: escarpas/ encostas de rocha lisa, abrigada; escarpas/ encostas de rocha não lisa, abrigada; e escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados; além de Enrocamentos ("*rip-rap*" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigadas. Na tabela padronizada por MMA (2004) o ISL 10 corresponde aos seguintes ambientes: Deltas e barras de rio vegetadas; terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rio e lagoas; brejos salobros ou de água salgada com vegetação adaptada, apicum; Marismas; e Manguezais (mangues frontais e mangues de estuário).

Esta área compreende o mangue do estuário do Rio Juqueriquerê que é um dos rios mais importantes do litoral norte do estado de São Paulo por ser navegável e apresentar um ecossistema muito rico. Segundo Favoretti *et al.* (2007) a área do mangue do Rio Juqueriquerê possui uma rica diversidade em espécies de animais que está sendo prejudicada pelo avanço da ocupação irregular causada pela especulação imobiliária.

Através da análise combinada das ortofotos e ortomosaico foi possível identificar que se trata de uma área bastante vegetada que está sofrendo com o avanço da ocupação residencial. Por se tratar de um rio meandrante nota-se que existe uma maior concentração de vegetação de mangue nas margens convexas, onde ocorre a aggradação e a deposição de sedimentos. Por outro lado, as margens côncavas são caracterizadas pela ocupação urbana (Figura 29).

Figura 29: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando as duas margens deste rio onde é possível notar a **vegetação na margem convexa** e a **ocupação residencial na margem côncava**. A **seta em vermelho** indica o curso do rio em direção ao oceano.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

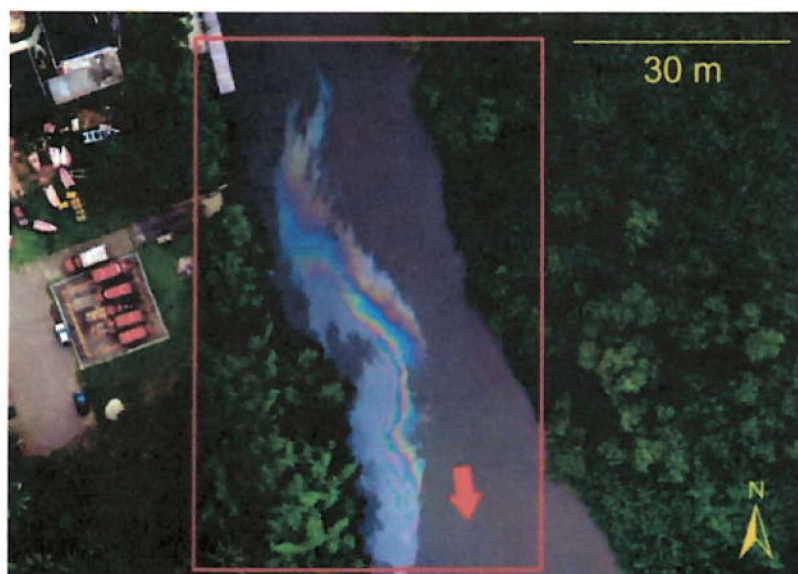
Uma observação bastante pertinente a se fazer nesta área é a aparição de uma mancha na superfície do rio que apresenta iridescência típica de uma contaminação por vazamento de óleo (Figuras 30 e 31). Não se sabe as características e a natureza deste óleo e o porque está presente nesta região que é considerada extremamente sensível tanto pelas características fisiográficas/ambientais quanto pelas atividades socioeconômicas ali desenvolvidas como por exemplo, o turismo.

Figura 30: ortofoto de drone orientada e escalada mostrando a mancha de óleo próxima a margem côncava deste rio.



Fonte: obtida a partir de drone DJI Phantom 4 Pro.

Figura 31: imagem retirada do ortomosaico processado mostrando a qualidade do contraste e da resolução em que é possível ver claramente a iridescência desta mancha de óleo.

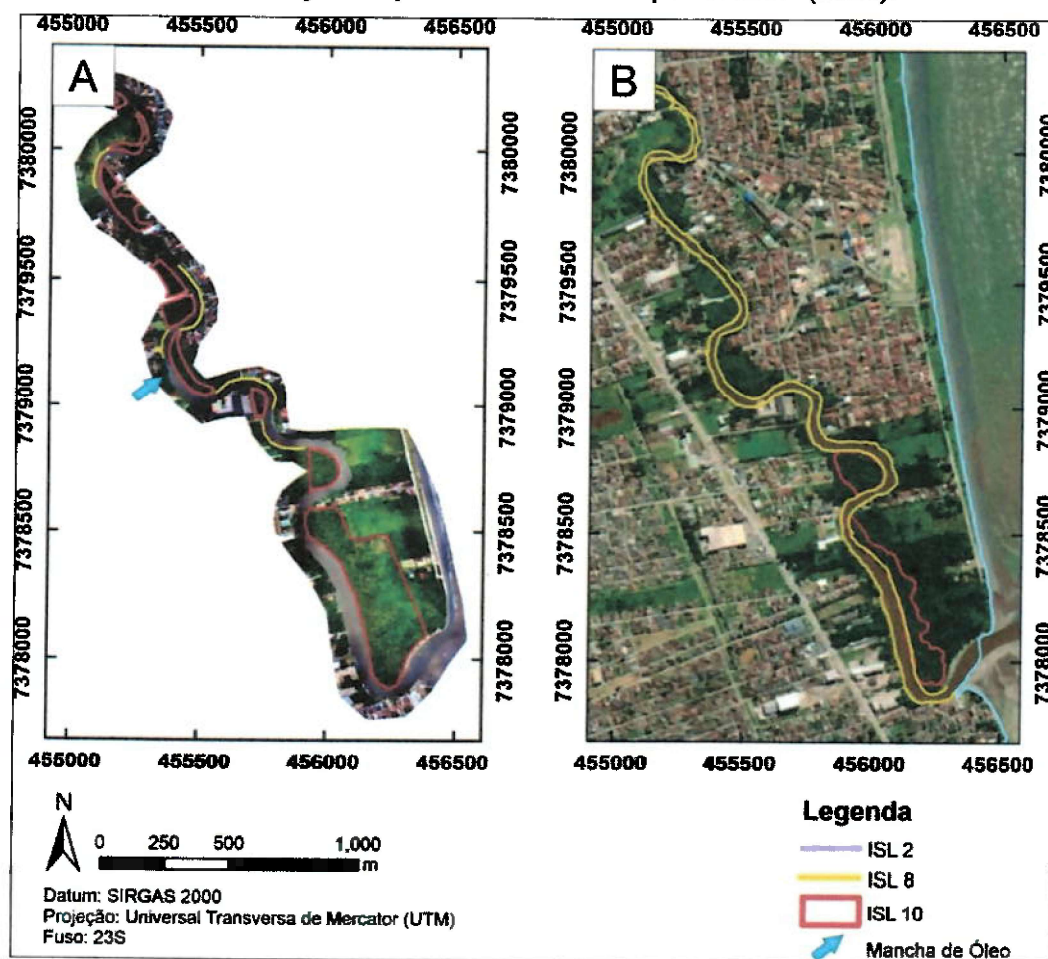


Fonte: obtido a partir de processamento feito em *Agisoft Metashape*.

Através da análise do modelo tridimensional é possível notar que se trata de uma área praticamente plana com alguns declives abrigados nas margens. Esta é uma área com uma grande biodiversidade e de grande importância socioeconômica para região fatores estes que fazem desta área extremamente sensível e suscetível aos vazamentos de óleo. Se recomenda um monitoramento constante nesta região para monitorar a evolução de eventuais manchas de óleo como as vistas na Figura 35.

A interpretação final deste ortomosaico (Figura 32) sofreu algumas alterações em relação a classificação inicial dada através do método de análise das imagens do *Google Earth*. Deste modo houve uma maior distribuição das áreas consideradas como manguezais com ISL 10, além do reconhecimento de feições artificiais abrigadas como aterros para a construção de leitos carroçáveis consideradas com ISL 8. Outros fatores bastante relevantes são o aspecto biológico que precisa de um levantamento de campo para ser melhor avaliado e o aspecto socioeconômico que aparenta ser bastante intensivo de acordo com a quantidade de barcos observada nas imagens.

Figura 32: A: ortomosaico mostrando a classificação realizada com o auxílio do drone; B: classificação de plataformas orbitais por UNESP (2020).



Fonte: elaborado em Agisoft Metashape e ArcGIS.

7 CONCLUSÕES

A aerofotogrametria por drones se mostrou efetiva no reconhecimento de algumas feições em determinados ambientes costeiros, principalmente as regiões de mangue que são bem complicadas de se separar olhando apenas para imagens de satélite. Outro ponto positivo foi a facilidade de se observar feições costeiras em áreas de difícil acesso, sendo em alguns casos possível identificar padrões de fraturamento nas rochas em costões rochosos, possivelmente abrindo brechas para estudos geológicos de macroescala mais aprofundados como em pesquisas minerais, estudos de maciço para geotecnia e mapeamentos geológicos.

A aerofotogrametria por drones mostra-se viável para estudos de impacto ambiental em caso de vazamentos de óleo, pois oferece um sensoriamento remoto

barato de alta resolução espacial e temporal. Um dos impactos ambientais citados neste trabalho seria a contaminação por óleo em ambientes costeiros sensíveis, com os drones se torna possível monitorar o avanço de uma pluma de contaminação desta substância afim de preparar equipes que possam ser mobilizadas para proteger os ecossistemas locais desta ameaça.

O drone possui uma limitação bastante evidente quanto a dimensão do mapeamento que se deseja realizar, pois este instrumento começa a se tornar inviável para o levantamento de grandes áreas que propiciam grande quantidade de dados. Estes dados precisam ser processados e isso consome bastante tempo, mesmo com áreas pequenas. Deste modo os drones seriam utilizados apenas para locais de difícil acesso que não necessitam detalhamento de campo e locais de alta sensibilidade para determinar a extensão de áreas alagadas, planícies de maré e outros ambientes abrigados.

É importante citar que este método não substitui a necessidade de campanhas de campo, principalmente para determinar o Índice de Sensibilidade ao Óleo das praias que possuem como parâmetro de separação a granulometria da areia. Em ambientes abrigados e sensíveis como manguezais é importante se realizar as campanhas de campo para um levantamento mais preciso da biodiversidade, sendo este um dado muito importante que se enquadra nos Recursos Biológicos que é um atributo das Cartas de Sensibilidade ao Óleo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n. 41, p. 169-263. 1964.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, 1977.

ALVARENGA, L. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, ed. 2, p. 1-7, 2012.

ARAÚJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro: CENPES/Petrobras, 2006. Mapa/Atlas.

BARBOSA, C. C. A.; VASCONCELOS, T. L.; VALDEVINO, D. S.; SÁ, L. A. C. M. Estruturação de base cartográfica para mapeamento de sensibilidade ambiental a derrames de óleo ao longo do litoral pernambucano. *In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 3, 2010, Recife-PE, p. 1-8.

BORGES, R. O.; SOBRAL, L. T.; FAZAN, A. J.; RIBEIRO, R. F.; LANZA, D. S.; CALIL, M. S. Utilização de drones de pequeno porte com a alternativa de baixo custo para caracterização topográfica da infraestrutura de transportes no Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Cartografia*, 17., 2017, Rio de Janeiro-RJ. *Anais [...]*. 2017. p. 1-10.

BRASIL. **Lei nº 9966**, de 28 de abril de 2000.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. **Resolução nº 274**, 29 de novembro de 2008. Ministério do Meio Ambiente. 2008.

CETESB. **Operação Praia Limpa 1996: relatório final**. São Paulo: CETESB/SMA, 1996. 138 p.

CORRÊA, C. V. S. **Modelagem morfométrica para avaliação da potencialidade de bacias hidrográficas a corridas de detritos: proposta aplicada em Caraguatatuba (SP) e São Sebastião (SP)**. 2018. 278 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - UNESP, Rio Claro - SP, 2018.

COSTA, D. **Cartografia temática do atlas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo**. 2010. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) - UNESP, Presidente Prudente- SP, 2010.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geológico da Folha Caraguatatuba**. SF-23-Y-D-VI-1. São Paulo: CPRM, 1982a. Escala 1:50.000.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A Questão Ambiental - Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 250 p.

FAJER, M. **Sistemas de investigação dos acidentes aeronáuticos da aviação geral: uma análise comparativa**. 2009. 150 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Saúde Pública) - USP, São Paulo, 2009.

FARIA, R. R.; COSTA, M. E. A inserção dos veículos aéreos não tripuláveis (DRONES) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental. *Revista Ordem Pública*, v. 8, n. 1, 2015.

FAVORETTI, M. R.; BATALLA, J. F. Levantamento da avifauna no mangue do Rio Juqueriquerê, Caraguatatuba-SP. *Unisanta Bioscience*, Caraguatatuba-SP, v. 6,

n. 4, p. 272-285, 2017.

FLOREANO, D.; WOOD, R. J. Science, technology and the future of small autonomous drones. **Nature**, v. 521, n. 7553, 2015.

FOGAÇA, J. R. V. **Danos causados por vazamentos de petróleo nos oceanos**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/quimica/danos-causados-por-vazamentospetroleo-nos-oceanos.html>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. L. **CLIMATOLOGIA APLICADA: resgate aos estudos de caso**. São Paulo: Editora CRV, 2012. 198 p.

GRAMANI, M. F.; CAVALHIERI, C.; MANTOVANI, J.; SILVA, A.; CAROU, C. B. O Uso de Drone Multirrotor de Pequeno Porte para Diagnóstico e Monitoramento de Acidentes Geológicos. *In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 19., 2018, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: 2018. p. 1-10.

GOBBI, E. S. **Depósitos Gravitacionais, Marinheiros e Fluviais e a Evolução Geomorfológica da Planície Sedimentar de Caraguatatuba-SP**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Campinas, 2009.

HASUI, Y. **Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do estado de São Paulo: Mapa Geológico em escala 1: 200.000**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT. Monografias, 1), Publicação IPT n. 1106, 1978.

HAYES, M.O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J.A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planing. *In: International Oil Spill Conference*, Washington, 1995. **Proceedings [...]**. Washington: American Petroleum Institute Publication, n. 4651, p. 365-371.

HAYES, M.O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T.M. The Reach Sensitivity Index (RSI) for Mapping Rivers and Streams. *In: International Oil Spill Conference*, Washington, 1997. **Proceedings [...]**. Washington: American Petroleum Institute Publication, n. 4651, p. 343-350.

IPIECA. Desarrollo de mapas de sensibilidad para la resposta a derrames de hidrocarburos. **Série de Informes de IPIECA**. v. 1. 1996.

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n. 10, p. 1003-1014. 1998

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva sobre recursos terrestres**. 2. ed. rev. e atual. Parêntese, 2009. 585 p.

KETKAR, K. W. The Oil Pollution Act of 1990: A Decade Later. **Spill Science & Technology Bulletin**, South Orange-NJ, v. 7, ed. 1-2, p. 45-52, 2002.

KIM, T.; MULLER, J. P. Automated urban area building extraction from high resolution stereo imagery. **Image and Vision Computing**, v. 14, n. 2, p. 115–130, 1996

KOH, L. P.; WICH, S. A. Dawn of Drone Ecology: Low-Cost Autonomous Aerial Vehicles for Conservation. **Tropical Conservation Science**, v. 5, ed. 2, p. 121-132, 2012.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com carga perigosa**. 2010. 163 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes) - USP, São Paulo, 2010

LOZANO, J. F.; ALONSO, G. G. Aplicaciones geológicas de los drones. **Revista de la Sociedad Geológica de España**, v. 29, p. 89-105, 2016

MARTINS, P. T. A.; RIEDEL, P. S.; MILANELLI, J. C. C. Carta da Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Rodovias: aplicação piloto na Estrada dos Tamoios (SP-099), Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, ed. 1, p. 59-74, 2014.

MEDEIROS, F. A.; ALONÇO, A. S.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, V. O.; LANDERHAL, M. L. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georreferenciado. **Ciência Rural [online]**, v. 38, ed. 8, p. 2375-2378, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, 2002. 107 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, 2004. 107 p.

MORAES, J. E. F.; QUINA, F. H.; NASCIMENTO, C. A. O.; SILVA, D. N.; CHIAVONE-FILHO, O. Treatment of Saline Wastewater Contaminated with Hydrocarbons by the Photo-Fenton Process. **Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 1183–1187, 2004.

- NEVES, B. B. B.; CARNEIRO, C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V. **Geologia do Continente Sul-Americano**. São Paulo, Editora Beca, p. 203-234, 2004
- PEDROSO, E.; NERY JUNIOR, H. Como reduzir os impactos ambientais através do ecoturismo lagoa azul sustentável. *In: Safety, Health and Environment World Congress*, 14., 2014. **Proceedings [...]**. Cubatão- SP: Science and Education Research Council (Copec), 2014. p. 259-263.
- PETERSEN, J. **Environmental Sensitivity Index Guidelines**. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 2.0. 1997. 175p
- PETERSEN, J. **Environmental Sensitivity Index Guidelines**. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 3.0. 2002. 89p.
- RIBEIRO, D. F.; RIEDEL, P. S.; LEME, A. M.; ZAIN, J. E. Sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres: aplicação em obras lineares. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, ed. 9, p. 1-79, 2017.
- RIBEIRO, D. F.; LUPINACCI, C. M.; RIEDEL, P. S. Sensoriamento Remoto na avaliação das características geomorfológicas para a identificação da sensibilidade ambiental a derrames de óleo: baixo curso do rio Piracicaba-SP. **Revista Geociências**, v. 37, ed. 3, p. 583-596, 2018.
- ROCHA, T. C. F. **Mapeamento da sensibilidade ambiental do litoral de Ubatuba-SP a vazamentos de petróleo**. 2008. 184 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - UNESP, Rio Claro, 2008.
- ROMERO, A. F.; RIEDEL, P. S.; MILANELLI, J. C. C. Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do Sistema Estuarino-Lagunar De Cananéia-Iguape, Litoral Sul de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, p. 229-238, 2010.
- SANCHEZ, M.; PEDRONI, F.; LEITÃO-FILHO, H. F.; CESAR, O. Composição florística de um trecho de floresta ripária na Mata Atlântica em Picinguaba, Ubatuba, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 22, p. 31-42. 1999.
- SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, ed. 2, p. 81-96, 2015.
- SANT'ANNA NETO, J. L.; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. *In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. (Orgs.). Quaternário no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Environmental Issues in the la Plata Basin. **International Journal of Water Resources Development**, v. 14, n. 2, p.157-173, jun. 1998.

UNESP, 2020. *In: Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos – PCR - BC/CARTAS SAO*. Rio de Janeiro (RJ): PETROBRAS/CENPES, 2020.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - PEIC e áreas do entorno**. 2006. 57 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - UNESP, 2006.

ZAINE, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaios em Poços de Caldas, MG. Rio Claro – SP**. (Tese de livre docência – Universidade Estadual Paulista). 2011