

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

METODOLOGIA DE MAPEAMENTO E
IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS COM USO DE
VANTs

Alfredo Kohiti Feres Yamauchi

Jaboticabal, São Paulo

-2021-

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

METODOLOGIA EM MAPEAMENTO E
IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE
MACRÓFITAS AQUÁTICAS COM USO DE
VANTs

Alfredo Kohiti Feres Yamauchi

Orientador: Profº Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo

Tese apresentada ao programa de
Pós-graduação em Aquicultura do
centro de Aquicultura da UNESP –
CAUNESP como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor

Jaboticabal, São Paulo

-2021-

D155a Yamauchi, Alfredo Kohiti Feres
Metodologia em mapeamento e Identificação de Espécies de
Macrófitas Aquáticas com uso de VANTs. – – Jaboticabal, 2021
x, 89 p.: il ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aquicultura, 2021
Orientador: Antonio Fernando Monteiro Camargo
Banca examinadora: Alexandre Schiavetti, Cristiane Akemi Umetsu,
Lúcia Helena Sipaúba Tavares, Milton Cezar Ribeiro.
Bibliografia

1. Itanhaém. 2. Macrófita. 3. VANTs. 4. Monitoramento ambiental.
I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 636.3.043

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP

UNESP

CENTRO DE
AQUICULTURA

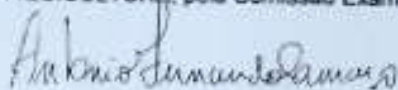
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Metodologia de Mapeamento e Identificação de Espécies de Macrófitas Aquáticas com uso de VANTs

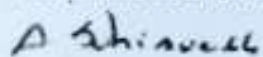
AUTOR: ALFREDO KOHITI FERES YAMAUCHI

ORIENTADOR: ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO

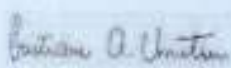
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em
AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Prof. Dr. ALEXANDRE SCHIAVETTI (Participação Virtual)



Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA
Pesquisadora CRISTIANE AKEMI UMETSU (Participação Virtual)
/ Pesquisadora Independente, Rio Claro-SP



Profa. Dra. LÚCIA HELENA SIPAUBA TAVARES (Participação Virtual)
Laboratório de Limnologia / Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal-SP



Prof. Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Instituto de Biociências (IB) / UNESP, Rio Claro-SP

Jaboticabal, 31 de maio de 2021

Centro de Aquicultura da Unesp
Coordenação do Programa de Pós-Graduação
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellani, s/nº - CEP 14884-900 Jaboticabal - SP - Brasil
Tel: 51 16 32032101 ou 32032114 Fax: 51 16 32032298
caunesp@caunesp.unesp.br www.caunesp.unesp.br

***Tudo que temos que decidir é o
que fazer com o tempo que nos é
dado. (J.R.R Tolkien)***

**Dedico esta obra a minha mãe
Terezinha Aparecida de Jesus Feres
Yamauch em *in memorian* ao meu
pai Hidenori Yamauch.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida, por permitir a mim a convivência com as pessoas que amo e pelas oportunidades que tive o privilégio de vivenciar.

Ao meu orientador e estimado amigo Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, por seu carinho, paciência e orientação durante todo meu curso de Doutorado. Sempre com palavras de apoio e um ótimo humor. Com certeza o que eu levo de mais precioso comigo deste período é esta amizade.

Ao Dr. Leonardo Cancian, que desempenhou papel essencial para a viabilização desta pesquisa.

Ao técnico Carlos Fernando Sanches, pela parceria e ajuda imprescindível, tanto nos fazeres acadêmicos quanto em questões mais cotidianas. Sem contar na sua irreverência, que sempre mantiveram nossos espíritos animados.

A Profa. Lúcia Helena Sipaúba Tavares, pelo acolhimento e carinho durante um momento complicado meu. E às amigas do laboratório Juliane dos Santos e Débora Cristina Fenerich pela amizade e parceria, e principalmente à Mayara Galatti Tedesque, que me apresentou a oportunidade de integrar a equipe e por toda ajuda na elaboração da presente pesquisa.

Aos meus companheiros da minha república de graduação, principalmente ao Mateus Turolla (Popota) e Mateus Ferrari Gomes (Dilema) pela parceria.

Aos meus amigos e companheiros de vida Willian Brandimarte, Alessandra Machado da Cunha, Rudge Bueno, Rodrigo Okabe Biazibeti, Pedro de Almeida, Thiago Toledo, José Eduardo Tostes pela parceria e pelo ombro amigo. Quero agradecer ainda de forma especial a minha amiga Cynthia Venancio Ikefuti, que vivenciou comigo boa parte das experiências do Doutorado e teve participação fundamental na minha vida.

Ao Centro de Aquicultura da Unesp e ao Programa de Pós-graduação em aquicultura pela oportunidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos os meus outros amigos e familiares que de alguma forma me apoiaram durante este período.

APRESENTAÇÃO

Meu estudo com as macrófitas aquáticas se iniciou durante meu curso para obtenção de título de Mestrado. Meu orientador, o professor Robinson Antonio Pitelli me ofereceu a oportunidade de trabalhar no monitoramento de macrófitas aquáticas no complexo do Ribeirão das Lajes, estado do Rio de Janeiro. Nesta época fazíamos o monitoramento com o uso de embarcação em pontos definidos ao longo dos rios. Comecei a notar que a embarcação não podia avançar muito além das bordas dos densos bancos de macrófitas. Fiquei curioso sobre o que estaria ocorrendo além da minha visão. Escolhi então o professor Antonio Fernando Monteiro Camargo como meu orientador de Doutorado do programa de pós-graduação do Centro de Aquicultura da Unesp, a fim de aprimorar meus conhecimentos sobre as comunidades vegetais aquáticas, que desempenham funções ecológicas importantíssimas, especialmente em regiões de clima tropical. Apresentei minha curiosidade a ele junto com uma possível solução: em 2015 a tecnologia de aquisição de imagens através de sensores montados em veículos aéreos não tripulados (VANTs) estava se popularizando e poderia ser uma maneira viável de estender o campo de visão de uma amostragem. No entanto, nós não possuíamos nenhum conhecimento técnico sobre o equipamento e práticas. Mesmo assim o prof. Antonio acreditou a ideia e decidiu viabilizar o estudo. Ele entrou em contato com o Dr. Leonardo Cancian, que foi seu orientado de doutorado e possuía grande domínio no manejo do equipamento e em sistemas de informações geográficas. Este foi de suma importância desde o início do projeto, sendo responsável inclusive pela escolha e aquisição do equipamento, realizada com verbas do CNPq do Projeto Peld-Ita que o professor Antonio estava desenvolvendo. Ele também foi responsável pela pilotagem e planejamento de voo. Então o professor Antonio sugeriu que o estudo fosse desenvolvido na bacia do rio Itanhaém, no litoral sul do estado de São Paulo. A região já era bastante conhecida por ele, que desenvolve estudos limnológicos e monitoramento das comunidades de macrófitas aquáticas há décadas. A equipe ainda contou com o auxílio do técnico Carlos Fernando Sanches, que além de auxiliar em todo processo foi responsável por manter nosso bom humor com muita irreverência. Neste momento enxergamos o tamanho do desafio. Detalhes como a plataforma de lançamento e pouso não

havia sido observados, e uma solução prática e de baixo orçamento foi implantada: placas de fibra de borracha serviram de sustentação para a plataforma improvisada montada na proa da voadeira (chata). A partir deste momento o aprendizado foi grande. Várias soluções precisaram ser improvisadas, e tudo o que foi pedido ao Dr. Leonardo, ele conseguiu providenciar. Após várias missões de voo em 2016 e 2017, conseguimos confeccionar nosso mapa. O resultado foi promissor, mas minha curiosidade ainda não estava satisfeita. Não conseguimos viabilizar a amostragem de toda a área, então optamos por realizar um estudo mais detalhado em duas áreas menores dentro do nosso mapa. Planejamos uma nova missão para março de 2018, e viabilizamos a coleta de imagens em baixa altitude, que permitiu identificarmos as espécies de macrófitas presentes em cada ponto. Durante este processo entendemos que condições climáticas como vento, nebulosidade e horário do dia afetam a qualidade do imageamento. A autonomia de voo dos VANTs também foi um fator determinante. Possuíamos apenas duas baterias e cada uma tinha capacidade máxima de duas missões pequenas. Contamos inclusive com o apoio do Restaurante do Mauricinho, que era o ponto mais próximo com acesso à energia elétrica, para recarregarmos as baterias do equipamento. E após o trabalho de campo iniciamos a interpretação das imagens, que por si só demonstrou ser um desafio enorme que exigia grande conhecimento técnico e poder de processamento. Nesta tese pretendo apresentar o potencial do uso de VANTs para contribuir com o conhecimento sobre macrófitas aquáticas.

RESUMO

As macrófitas aquáticas desempenham função importante no ecossistema aquático, no sentido de fornecer alimento e habitat a vários organismos e sua ocorrência apresenta relação direta com as características limnológicas. Assim o monitoramento da distribuição das espécies de macrófitas aquáticas em rios e lagos pode elucidar uma miríade de características importantes para o ambiente aquático. Entretanto, a coleta dos dados demanda uma variedade de recursos e o trabalho de campo por si só pode não ser capaz de fornecer dados suficientes para um monitoramento mais adequado. O uso do sensoriamento remoto possui potencial para superar as limitações dos métodos tradicionais de amostragem. Veículos aéreos não tripulados (VANTs) combinam várias vantagens do imageamento espacial (Satélites) e do imageamento aéreo por veículos tripulados. Sua alta flexibilidade temporal permite ao usuário realizar a coleta das imagens em um curto período, no momento desejado, além de responder rapidamente às condições meteorológicas ou de logística. Os objetivos deste trabalho foram sugerir uma metodologia para a observação de assembleias de macrófitas aquáticas através de imagens de alta resolução obtidas por um VANT e observar se as imagens obtidas possuem acurácia visual suficiente para um interpretador humano reconhecer as plantas ao nível de espécie. O método foi desenvolvido na bacia do rio Itanhaem, litoral sul do Estado de São Paulo. Uma área do Rio Preto com cerca de 10 hectares foi monitorada com um VANT, equipado com um sensor RGB, a 75 m de altura. Com as imagens obtidas nós elaboramos um mapa da área. Embora seja possível diferenciar os padrões de coloração e textura da imagem que correspondem a determinado conjunto de espécies de macrófitas, a resolução ficou abaixo do necessário para identificarmos visualmente todas as espécies pelo mapa. Planejamos outro monitoramento a fim de aumentar a resolução das imagens, através de seleção de pontos de amostragem. Assim, o VANT obteve uma imagem de cada ponto a cerca de 2,5 m de altura. Com estas imagens nós identificamos visualmente as espécies de macrófitas que ocorrem simultaneamente em cada ponto de amostragem. Esta metodologia permitiu mapear uma área e reconhecer as espécies de macrófitas aquáticas, pois o campo de visão do monitoramento foi

estendido, permitindo visualizar áreas que utilizando somente a embarcação não era possível de ser amostrada.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, Itanhaém, monitoramento ambiental, método e interpretação de imagens.

.

ABSTRACT

The aquatic macrophyte perform an important role in the aquatic ecosystem, in the sense of providing food and habitat to several organisms and its occurrence presents direct relation to the limnologic features. Thus, the monitoring of the macrophyte species distribution in rivers and lakes may clarify a plethora of important features of the aquatic environment. However, data sampling requires many resources, and the field survey alone may not be able to provide enough data to a more adequate survey. The employment of remote sensing presents the potential to overcome limitations of the traditional sampling methods. Unmanned Aircraft Systems (UAS) combine the advantages of space imaging (satellite) and airborne imaging with manned aircrafts. Its high temporal flexibility allows the user to perform the image sampling in a short period, at the desired moment, besides its quick response to weather or logistic conditions. The aims of the present research were to suggest a method for the observation of macrophyte assemblages through high-resolution images obtained by a UAS and to observe if a human interpreter can recognize plant species with visual accuracy. The method was developed in the Itanhaem river basin, southern coast of the Sao Paulo State. A 10-hectares area in the Preto river was monitored by a UAS, equipped with a RGB sensor, at 75 meters high. We elaborated a map containing the area with the images obtained by the sensor. Although we could identify the patterns of color and texture in the images which corresponds to a particular assemblage of macrophyte species, the map resolution was lower than the necessary to correctly identify the macrophyte species. We planned another monitoring in order to increase the image resolution, with the selection of sampling points. Thus, the UAS obtained an image at 2.5 meter high. With these images we identify visually the macrophyte species which occur simultaneously in each sampling point. The present method allowed to map an area and recognize the aquatic macrophyte species, for the field of vision of the monitoring was extended, since the areas which were not accessible from the boat could be sampled.

Keywords: Remote sensing, Itanhaem, environmental monitoring, method and interpretation of images.

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1 Caracterização e descrição de veículos aéreos não tripulados (vant).....	22
2. OBJETIVO GERAIS.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Área de Estudo.....	25
3.2 Desafios e Limitações.....	29
3.3 Aquisição das imagens.....	43
3.4 Identificação das espécies.....	51
3.5 Interpretação das imagens das assembleias de macrófitas.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5. CONCLUSÃO.....	81
6. REFERÊNCIAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1. Variedade de águas da bacia do rio Itanhaém.....	25
Figura 2. Bancos de macrófitas na bacia do rio Itanhaém.....	27
Figura 3. Bacia do Itanhaém e região selecionada para o estudo (adaptado de Umetsu et al., 2018)	29
Figura 4. Representação sobre o ângulo de visão do sensor e a distorção da região marginal da imagem, onde a) ângulo de visão do sensor; b) alvo imediatamente abaixo do sensor, visto de cima; c) alvo na região marginal do campo de visão do sensor, visto pela lateral; d) área total representada; e) região central da imagem.....	30
Figura 5. Imagem obtida por sensor óptico embarcado em um VANT, onde a) representa a região central da imagem e b) indica que o alvo é percebido lateralmente na região marginal da imagem. Seta no sentido em que a distorção aumenta.....	30
Figura 6. Representação do raio de visão de um sensor, onde: a) representa o ângulo de visão da lente; b) e c) são as distâncias entre o alvo e o sensor. No caso de b) a distância é menor e a lente captura a imagem de uma área (x) menor, enquanto c) é uma distância maior que permite que o sensor capture a imagem de uma área (y) maior.....	31
Figura 7. Trajeto percorrido pelo sensor para realizar a varredura da área. Setas indicam o sentido do movimento do VANT. Círculos representam os pontos de manobra.....	33
Figura 8A. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.....	34
Figura 8B. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.....	34
Figura 8C. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.....	35
Figura 8D. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a	

região central das imagens.....	35
Figura 8E. Sobreposição de duas imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos menores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.....	36
Figura 8F. Sobreposição de três imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos menores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.....	36
Figura 8G. Sobreposição das quatro imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos menores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.....	37
Figura 8H. Panorama composto formado pela união por sobreposição das quatro imagens.....	37
Figura 8I. Produto da composição de imagens.....	39
Figura 9. Veículo aéreo não tripulado – VANT modelo Iris+ 3D Robotics, utilizado para o mapeamento de bancos de macrófitas aquáticas na bacia hidrográfica do rio Itanhaém, Itanhaém – SP.....	43
Figura 10A. Plataforma de pouso e decolagem.....	44
Figura 10B. Momento de decolagem.....	44
Figura 11. Interface do software Mission Planner, com o plano de voo de um dos polígonos. A linha amarela representa o percurso do Vant para a aquisição de imagens que compõe um dos polígonos.....	45
Figura 12. Grid de imagens usadas para formação de um polígono.....	46
Figura 13A. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do software Drone Mapper.....	47
Figura 13B. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do software Drone Mapper.....	47
Figura 13C. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do software Drone Mapper.....	48
Figura 13D. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do software	

Drone Mapper.....	48
Figura 13E. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do software Drone Mapper.....	49
Figura 14A. Mapa completo da área. Círculos indicam as áreas de interesse.....	50
Figura 14B. Representação da área de interesse 1.....	50
Figura 14C. Representação da área de interesse 2.....	50
Figura 15A. Plano de voo utilizado para sobrevoo dos pontos selecionados em cada área de interesse.....	52
Figura 15B. Plano de voo utilizado para sobrevoo dos pontos selecionados em cada área de interesse.....	53
Figura 16. Imagem adquirida a 2,5m de altitude. GSD=0,09 cm.pixel ⁻¹	53
Figura 17. Mapa de vegetação da área total, realizado por interpretação manual. Áreas em azul representam a mata de restinga; áreas em verde representam as macrófitas flutuantes; as áreas em preto representam a água. Círculos vermelhos indicam as áreas de interesse 1(a) e 2 (b).....	55
Figura 18. Imagem obtida por sensor embarcado em um VANT a cerca de 15 m de altitude (a) e amostra da imagem obtida com GSD = 0,3 m.....	57
Figura 19. representação de um segmento do mapa da área de estudo. Letras e círculos representam padrões de coloração e textura reconhecidos pelo interpretador. a), f) e h) representam a predominância de <i>Eicchornia azurea</i> ; c), e) e g) foram reconhecidos predominantemente como <i>Polygonum acuminatum</i> ; b) e d) representam a ocorrência predominantemente de <i>Limnobium laevigatum</i>	58
Figura 20. Área de interesse A com as demarcações dos limites dos padrões de cor e textura observados pelo interpretador.....	58
Figura 21. Área de interesse B com as demarcações dos limites dos padrões de cor e textura observados pelo interpretador.....	59
Figura 22. Mapa de vegetação da área de interesse A. Cores representam as classes de vegetação.....	60
Figura 23. Mapa de vegetação da área de interesse B. Cores representam as classes de vegetação.....	60

Figura 24. Localização dos pontos de amostragem na área de interesse A...	62
Figura 25. Localização dos pontos de amostragem na área de interesse B...	63
Figura 26A. Amostra do ponto 1 da área de interesse A em S1.....	65
Figura 26B. Espécies identificadas na amostra do ponto 1, na área A. Letras e círculos representam as espécies identificadas, sendo elas: a) <i>Eicchornia azurea</i> ; b) <i>Polygonum acuminatum</i> ; c) <i>Oxycarium cubense</i> ; d) <i>Salvinia molesta</i> e e) <i>Urochloa arrecta</i>	66
Figura 27A. Amostra do ponto 2 da área de interesse A em S1.....	66
Figura 27B. Espécies identificadas na amostra do ponto 2 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Estolões e folhas de <i>Urochloa arrecta</i> (a) ocorrendo entre o <i>Polygonum acuminatum</i> (b).....	67
Figura 28A. Amostra do ponto 3 da área de interesse A em S1.....	67
Figura 28B. Espécies identificadas na amostra do ponto 3 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Círculos marcados com a) indicam a presença de <i>S. molesta</i> ; b) indica a presença de <i>Urochloa arrecta</i> . Ambas as espécies ocorrendo dentro de uma faixa vegetada contínua de <i>Polygonum acuminatum</i>	68
Figura 29A. Amostra do ponto 4 da área de interesse A em S2.....	68
Figura 29B. Espécies identificadas na amostra do ponto 4 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Em a) é possível observar <i>Oxycarium cubense</i> ocorrendo junto de <i>Eicchornia crassipes</i> e <i>Polygonum acuminatum</i> , enquanto b) contém um dos poucos indivíduos de <i>Urochloa arrecta</i> encontrados nesta faixa contínua de <i>Eicchornia crassipes</i>	69
Figura 30A. Amostra do ponto 5 da área de interesse A em S3.....	69
Figura 30B. Espécies identificadas na amostra do ponto 5 da área de interesse A. Letras representam as espécies identificadas. a) <i>Oxycarium cubense</i> entre <i>Limnobium laevigatum</i> e <i>Salvinia molesta</i> ; b) <i>Polygonum acuminatum</i> sobre <i>Limnobium laevigatum</i> e <i>Salvinia molesta</i> ; c) <i>Salvinia molesta</i> entre <i>Limnobium laevigatum</i> ; d) <i>Limnobium laevigatum</i> ; e) <i>Pistia stratiotes</i> entre <i>Limnobium laevigatum</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	70

Figura 31A. Amostra do ponto 6 da área de interesse A em S3.....	70
Figura 31B. Espécies identificadas na amostra do ponto 6 da área de interesse A. Letras representam as espécies identificadas. a) <i>Oxycarium cubense</i> sobre <i>Limnobium laevigatum</i> e <i>Salvinia molesta</i> ; b) <i>Polygonum acuminatum</i> sobre <i>Limnobium laevigatum</i> e <i>Salvinia molesta</i> ; c) <i>Salvinia molesta</i> ; d) <i>Limnobium laevigatum</i> ; e) <i>Pistia stratiotes</i> junto com <i>Limnobium laevigatum</i>	71
Figura 32A. Amostra do ponto 1 da área de interesse B em S1.....	71
Figura 32B. Detalhe da amostra do ponto 1 na área de interesse B. A figura representa a densa colonização de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	72
Figura 33A. Amostra do ponto 2 da área de interesse B em S1.....	72
Figura 33B. Detalhe da amostra do ponto 2 na área de interesse B. A figura representa uma condição similar à do ponto anterior, com colonização densa de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i> , que recobrem toda a lâmina d'água e não sobra espaço para outras espécies se estabelecerem...	73
Figura 34. Amostra do ponto 3 da área de interesse B em S1. Colonização densa de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	73
Figura 35. Amostra do ponto 4 da área de interesse B em S1. Colonização densa de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	74
Figura 36. Amostra do ponto 5 da área de interesse B em S1. Colonização densa de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	74
Figura 37. Amostra do ponto 6 da área de interesse B em S1. Colonização densa de <i>Urochloa arrecta</i> e <i>Polygonum acuminatum</i>	75
Figura 38A. Amostra do ponto 7 da área de interesse B em S3.....	76
Figura 38B. Detalhe da amostra do ponto 7. Letras e círculos representam as espécies identificadas a) <i>Polygonum acuminatum</i> ; b) <i>Urochloa arrecta</i> ; c) <i>Oxycarium cubense</i> . Todas ocorrem sobre biomassa densa de <i>S. molesta</i>	76
Figura 39A. Amostra do ponto 8 da área de interesse B em S4.....	77
Figura 39B. Detalhe da amostra do ponto 8. Letras e círculos representam as espécies identificadas. a) <i>Oxycarium cubense</i> ; b) <i>Polygonum acuminatum</i> ; c) <i>Urochloa arrecta</i> . Todas ocorrem sobre biomassa densa de <i>Salvinia molesta</i>	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies de Macrófitas observadas no rio Itanhaém (Nunes et al., 2020).....	25
Tabela 2. Satélites para sensoriamento remoto (Zhu et al., 2018).....	43
Tabela 3. Lista de táxons registrados nos bancos de macrófitas monitorados com auxílio de embarcação.....	61
Tabela 4. Área (m2) e classe de vegetação atribuída a cada subdivisão da área de interesse A.....	67
Tabela 5. Área (m2) e classe de vegetação atribuída a cada subárea da área de interesse B.....	68
Tabela 6. Lista de espécies identificadas em cada ponto de amostragem nas áreas de interesse A e B.....	71

1. INTRODUÇÃO

Macrófitas aquáticas possuem funções ecológicas importantes para os ecossistemas aquáticos. Estes vegetais servem como alimento e habitat para vários organismos e contribuem para o aumento da biodiversidade. A complexidade do habitat proporcionado pela arquitetura variada das macrófitas afeta significativamente tanto o número de táxons quanto a densidade de invertebrados aquáticos (Thomaz et al., 2008). A riqueza de espécies destas plantas apresenta relação com características como as variáveis químicas (pH da água e condutividade do sedimento) e hidrológicas (profundidade do corpo hídrico, turbidez e composição do sedimento) (Svitok et al., 2016). As macrófitas estão entre os principais produtores primários do sistema e são importantes para a ciclagem de nutrientes e troca de oxigênio entre o sedimento e a água (Fisher e Carpenter, 1976; Plus et al., 2015; Janes et al., 2017).

Os ambientes aquáticos sofrem pressão crescente das alterações climáticas, intensificação do uso da terra e invasão de espécies exóticas (Vitousek et al., 1997; Markovic et al., 2014). O gradiente ambiental das variáveis abióticas afeta a distribuição das espécies de macrófitas em regiões estuarinas. Estresses abióticos podem definir a ausência de determinada espécie e influenciam também na dinâmica da competição (Nunes & Camargo, 2015). A presença de espécies de macrófitas flutuantes pode influenciar na capacidade de estabelecimento das comunidades de macrófitas submersas (Li et al., 2015). Assim o monitoramento da distribuição das espécies de macrófitas aquáticas em rios e lagos pode elucidar uma miríade de características importantes para o ambiente aquático. Entretanto, a coleta dos dados demanda uma variedade de recursos e o trabalho de campo por si só pode não ser capaz de fornecer dados suficientes para um monitoramento mais adequado (Husson et al., 2016).

Para melhor observar a relação entre as macrófitas no ambiente aquático é necessário avaliar sua ocorrência e abundância ao nível de espécie. Os métodos utilizados tradicionalmente para amostragem de vegetação em rios e lagos requerem trabalho intenso e estão restritos a pequenas áreas, o que pode produzir resultados inconsistentes (Croft e Chow-Fraser, 2009; Dudley et al., 2013; Mascaró et al., 2013). As amostragens e observações tradicionais feitas

com barco ou caminhando pela margem dos ambientes aquáticos muitas vezes não permitem a avaliação integral dos bancos de macrófitas. Quando a área vegetada é mais densa, por exemplo, o acesso às suas partes centrais é comprometido, tornando as amostragens restritas às bordas. Assim, estas amostragens podem fornecer informações incompletas e distorcidas da biodiversidade e ocorrência destes vegetais.

O uso do sensoriamento remoto possui potencial para superar as limitações dos métodos tradicionais, dado o avanço tecnológico das plataformas e sensores. As técnicas mais utilizadas para este tipo de estudo envolvem a aquisição e interpretação de dados de sensores multiespectrais (Albright e Ode, 2011; Kotta et al., 2013; Bolpagni et al., 2014). Porém, o potencial destas técnicas ainda é subutilizado, especialmente para o estudo de águas continentais (Palmer et al., 2015; Ross et al., 2019).

A interpretação de imagens multiespectrais é realizada através do uso de algoritmos preditivos, e pode ser supervisionada ou não-supervisionada. A classificação não-supervisionada é realizada pela análise do software sobre uma imagem, sem a necessidade do usuário definir amostras para as classes. O algoritmo é responsável por determinar a semelhança entre os pixels das imagens que os agrupa em classes. A participação do usuário neste processo se limita à escolha do algoritmo e ao número de classes identificadas. Em contrapartida, na classificação supervisionada o usuário é quem define o grupo de pixels que compõe uma amostra que seja representativa de classes específicas (ou amostras de treinamento). O software utiliza essa informação como referência para a classificação dos demais pixels da imagem.

Vários trabalhos demonstraram que esta metodologia é adequada para o estudo de tipos diversos de vegetação (Ozdogan, 2014; Villa et al., 2017; Khan et al., 2018). Isto é possível graças a alta resolução espectral obtida pelas imagens hiper espectrais, que aumentam a precisão destas técnicas. Porém, o processamento é demorado, mesmo com a cobertura de áreas menores (Adam et al., 2010). A classificação automática de imagens ainda encontra grandes dificuldades em identificar a vegetação ao nível de espécie, e uma interpretação manual por meio de um interpretador treinado pode fornecer um resultado mais preciso (Husson et al., 2016).

Embora os métodos que utilizam imagens de sensores espaciais

(satélites) tenham se demonstrado úteis, a variação nos padrões temporais e espaciais pode não ser percebida, dado a limitação espacial e temporal da aquisição dos dados. A obtenção das imagens pelo satélite é limitada pela sua posição ao redor do planeta e a periodicidade programada para retornar a determinada área.

Veículos aéreos não tripulados (Vants) combinam várias vantagens do imageamento espacial e do imageamento aéreo por veículos tripulados. Sua alta flexibilidade temporal permite ao usuário realizar a coleta das imagens em um curto período, no momento desejado, além de responder rapidamente às condições meteorológicas ou de logística. Esta plataforma também é versátil no sentido de poder embarcar ampla diversidade de sensores, que correspondam aos objetivos particulares da missão (Toth, 2018). No entanto, a utilização de Vant em estudos sobre a distribuição de macrófitas aquáticas ainda está em fase inicial e poucos estudos foram realizados (Husson et al., 2014; Husson et al., 2016; Husson et al., 2017; Thoth, 2018). Estes estudos compartilham um ponto em comum: a dificuldade em identificar as macrófitas a nível de espécie.

1.1 Caracterização e descrição de veículos aéreos não tripulados (VANTS)

Os vants inicialmente foram utilizados em aplicações militares principalmente, para inspeções não tripuladas, vigilância e reconhecimento de terreno. Devido aos avanços recentes em preço, peso e capacidade de carregarem devários tipos de sensores, a utilização civil se expandiu para outras áreas, como monitoramento de desastres, pesquisa científica, agricultura, entre outros (Salami et al., 2014; Suomalainen 2014; Matese et al., 2015; Connor et al., 2018; Toth 2018; Borbinha et al., 2020).

As tecnologias para sensoriamento remoto baseadas em imagens de satélite ou até mesmo por aeronaves tripuladas evoluíram simultaneamente e são amplamente utilizadas. Estas técnicas apresentam vantagens principalmente, para o estudo de áreas amplas, em regiões de difícil acesso ou até mesmo em estudos que visam comparar a situação entre duas regiões distantes (Streher et al., 2017; Alvarado et al., 2018). Porém o custo das análises em áreas menores que cinco hectares é baixo com o uso dos Vants (Matese et al., 2015) e a possibilidade de obter imagens em altíssima resolução espacial

(tamanho do pixel < 30 cm) aumenta consideravelmente, a precisão das análises (Husson et al., 2016; Burgoin et al., 2020). Imagens obtidas por satélite ainda não possuem uma combinação adequada de resolução espacial e espectral para a correta identificação das espécies vegetais, principalmente, em áreas com alta variedade espectral (Klemaš, 2014). Segundo Wulder et al. (2004), é necessária uma resolução espacial de pelo menos 2,6 cm para a identificação de um indivíduo arbóreo e com pixels de resoluções espaciais ainda maiores para que seja possível identificar indivíduos vegetais em uma pastagem.

Assim, os Vants constituem uma ferramenta promissora para os estudos em ecologia, pois apresentam como benefício a livre programação da aquisição das imagens e do período de revisita (frequência com que a aquisição das imagens é realizada), bem como a possibilidade de obter-se imagens de altíssima resolução. O período de revisita pode ser programado de forma a observar-se corretamente um evento fenológico particular e a altitude de voo pode ser planejada de forma a aproximar o sensor de seu alvo que promove melhora significativa da resolução espacial (Anderson e Gaston, 2013).

Esta tecnologia já foi utilizada com sucesso no monitoramento de qualidade de água, vegetação ripária e aquática, e gerou inclusive revisões que compilam o assunto, que abordam variadas técnicas e desafios (Klemaš, 2014; Salami et al., 2014; Rhee et al., 2018). Outros trabalhos demonstram a possibilidade da utilização de Vants para o monitoramento de macrófitas aquáticas. Thoth (2018) observou que a variabilidade fotofisiológica e fenológica observada em imagens derivadas de um sensor NDVI montado em um Vant pode prover precocemente valiosos indicadores de estresse ambiental em plantas de caniço (*Phragmites australis*). A pesquisa aponta ainda que a flexibilidade do método permite observar a variedade temporal e distribuição espacial em escala reduzida em um estande, que pode revelar regiões chave que precisem de atenção particular. Husson et al. (2014) observaram que imagens em cor verdadeira e resolução subdecimétrica oferecem grande potencial para a identificação de vegetação em rios e lagos, com a possibilidade de mapeamento a nível de espécie, bem como estimativas de abundância. Em outro estudo, Husson et al. (2016) observaram bom potencial para uso de classificação automática de imagens em cor verdadeira, embora a classificação manual das imagens obteve maior nível de detalhe e precisão.

2. OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos deste trabalho foram sugerir uma metodologia para a observação de assembleias de macrófitas aquáticas através de imagens de alta resolução obtidas por um Vant e observar se as imagens obtidas possuem acurácia visual suficiente para um interpretador humano reconhecer as plantas ao nível de espécie. Para atingir nosso objetivo realizamos um trabalho em uma área colonizada por espécies de macrófitas aquáticas localizada na bacia do rio Itanhaém. Esta bacia vem sendo objeto de estudos ecológicos há vários anos e a região da planície costeira possui áreas abundantes colonizadas por várias espécies de macrófitas aquáticas (Umetsu, et al, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A bacia do Rio Itanhaém está localizada no litoral sul do Estado de São Paulo, Brasil é a maior bacia costeira exclusiva do Estado (Camargo & Pereira, 2002), com área total de aproximadamente 950 km². Esta região apresenta grande importância para estudos ecológicos por conta de suas características distintas, tais como a presença de rios e riachos com água branca, preta, clara e salobra (Figura 1), relevo com áreas de planalto, escarpas e planície costeira, uso variado do solo e a presença de várias espécies animais e vegetais. Além disso, a bacia do rio Itanhaém possui características naturais únicas em comparação a outras bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Com exceção da região da foz, onde se encontra a área urbana do município de Itanhaém, a bacia possui áreas naturais bem preservadas. A parte superior da bacia (Serra do Mar) onde se encontra a maioria das nascentes dos rios está localizada dentro dos limites do Parque Estadual da Serra do Mar (Camargo & Cancian, 2016).



Figura 1. Variedade de águas da bacia do rio Itanhaém.

A bacia possui relevo com três estratos bem distintos, o que confere a ela um gradiente de formações vegetais naturais. No planalto e na escarpa ocorre predominância de Mata Atlântica. Na planície costeira a mata de restinga predomina, intercalada por pequenas áreas agrícolas. A porção inferior da bacia é caracterizada por mangues, que sofrem alta pressão antrópica devido à proximidade da área urbana.

A expansão da área urbana que ocorre nesta região promove impacto na vegetação natural. Merece destaque também que a região não possui indústrias e a principal atividade econômica do município de Itanhaém, bem como a de seus vizinhos (Mongaguá e Peruíbe) é o turismo (Amaral et al., 2006; Sato & Cunha, 2013; Camargo & Cancian, 2016).

Na planície costeira, devido a pequena elevação do terreno, os rios são meândricos, possuem pequena velocidade de corrente que proporciona a ocorrência de várias espécies e diferentes formas de vida de macrófitas aquáticas. Os bancos de macrófitas ocorrem nas áreas mais estreitas (até 20 m de largura) e rasas (até 1,5 m de profundidade) de deposição de sedimentos externos à floresta e estão distribuídos em um padrão de mosaico (Nunes & Camargo, 2020) (Figura 2).

A declividade da margem, velocidade de corrente, transparência da água, concentração de nitrogênio e fósforo e a grande influência marinha no estuário da bacia do Itanhaém conferem um gradiente de distribuição das espécies de macrófitas no sentido foz-escarpa (Mori, 2014). A região inferior do estuário sofre maior influência marinha e a salinidade deste local atinge valores superiores a 30 durante o inverno (Souza-Pereira & Camargo, 2004).

Embora esta característica claramente influencie a ocorrência de espécies de macrófitas nesta região, a salinidade não é o único determinante na distribuição das espécies que ali ocorrem. A menor disponibilidade de nutrientes é responsável pela ausência de *Spartina alterniflora* na parte superior do estuário, enquanto a ausência de *Crinum americanum* na parte baixa do estuário ocorre devido à competição entre estas duas espécies (Nunes & Camargo, 2018).

A única espécie que ocorre no baixo estuário é *S. alterniflora*, enquanto no médio estuário também ocorrem *C. americanum* e *Schoenoplectus californicus*. No alto estuário onde observamos a presença exclusiva de água

doce, várias outras espécies de todas as formas de vida são encontradas, tais como: *Urochloa arrecta*, *Eichhornia crassipes*, *Limnobium laevigatum*, *Oxycarium cubense*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia sp.* (Umestu et al, 2018).



Figura 2. Bancos de macrófitas na bacia do rio Itanhaém.

Em comparação a outros rios ao longo da costa do estado de São Paulo, como o Ubatumirim, Puruma, Itamambuca (litoral norte), Una, Guaratuba, Itapanhaú (litoral central) e o Guaraú (costa sul), o rio Itanhaém apresentou a maior riqueza de espécies e maior riqueza de formas de vida (Nunes et al., 2020). A tabela 1 apresenta espécies identificadas no rio Itanhaém:

Tabela 1. Espécies de Macrófitas observadas no rio Itanhaém (Nunes et al., 2020).

Familia	Espécie	Forma de Vida
ACANTHACEAE	<i>Hygrophila costata</i> Nees & T. Nees	Emergente
AMARYLLIDACEAE	<i>Crinum Americanum</i> L.	Emergente
ARACEAE	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Flutuante livre
ARALIACEAE	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.	Emergente
CABOMBACEAE	<i>Cabomba furcata</i> Schult. & Schult. f.	Submersa enraizada
CYPERACEAE	<i>Cyperus blepharoleptos</i> Steud	Emergente
	<i>Eleocharis minima</i> Kunth	Emergente
	<i>Rhynchospora corymbosa</i>	Emergente
	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Emergente
HALORAGACEAE	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	Emergente
HYDROCHARITACEAE	<i>Egeria densa</i> Planch.	Submersa enraizada
	<i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine	Flutuante livre
LENTIBULARIACEAE	<i>Utricularia foliosa</i> L.	Submersa livre
NYMPHAEACEAE	<i>Nymphaea rudgeana</i> G. Mey.	Enraizada flutuante
ORCHIDACEAE	<i>Habenaria repens</i> Nutt.	Emergente
POACEAE	<i>Leersia hexandra</i> Sw.	Emergente
	<i>Spartina alterniflora</i> Loisel.	Emergente
	<i>Urochloa arrecta</i> (Hack. ex. T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga	Emergente
PONTEDERIACEAE	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Flutuante livre
	<i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth	Flutuante enraizada
PTERIDACEAE	<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd. & Fisch	Amfíbia
RICCIACEAE	<i>Ricciocarpos natans</i> (L.) Corda	Flutuante livre
SALVINIACEAE	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	Flutuante livre
	<i>Salvinia molesta</i> D.S. Mitch.	Flutuante livre
TYPHACEAE	<i>Typha dominguensis</i> Pers.	Emergente

Assim encontramos na bacia do rio Itanhaém condições favoráveis para desenvolver o trabalho e atingir os objetivos pretendidos. Nós procuramos por áreas vegetadas de grande extensão e que fossem compostas por diversas

espécies, de forma a testar a acurácia visual das imagens obtidas pelo Vant. A área escolhida fica localizada na planície costeira em um trecho do Rio Preto na região do alto estuário (Figura 3).

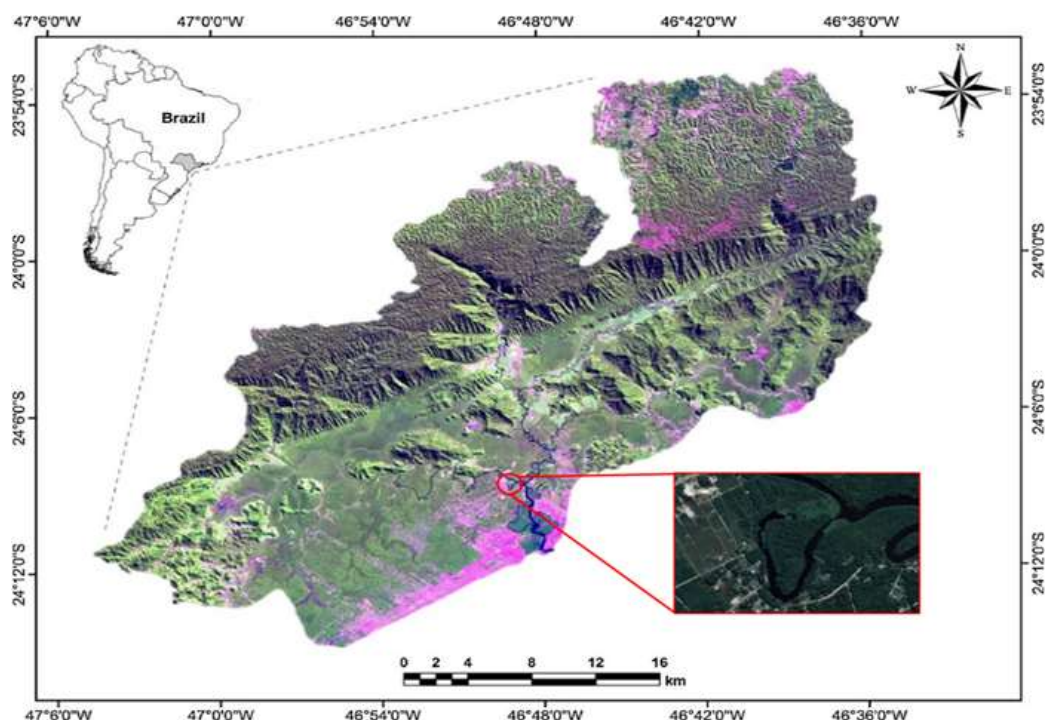


Figura 3. Bacia do Itanhaém e região selecionada para o estudo (adaptado de Umetsu et al., 2018).

3.2 Desafios e Limitações

A diminuição do custo e evolução dos equipamentos e técnicas de interpretação de imagens de sensoriamento remoto tornou o mapeamento de áreas mais acessível ao consumidor final. Entretanto, o método possui várias particularidades que devem ser observadas. Os fenômenos atmosféricos, por exemplo, influenciam diretamente na aquisição dos dados, principalmente quando o imageamento é realizado por meio de VANTS.

Os equipamentos eletrônicos são sensíveis à humidade e podem sofrer avarias se operados durante precipitação atmosférica. Desta forma o monitoramento das condições meteorológicas deve fazer parte do planejamento. Ventos mais intensos desestabilizam o VANT e prejudicam a qualidade da imagem, que pode sair sem foco ou fora de posição; dependendo desta intensidade o risco de acidentes aumenta dramaticamente. O ângulo zenital do sol é outro fator climático importante, principalmente em áreas com espelho

d'água. Quanto mais próximo do zênite o sol estiver, maior é o reflexo na água. Assim, grande intensidade de luz é capturada pela câmera, o que causa diminuição na qualidade da imagem. Por isso recomenda-se programar a aquisição das imagens para dias parcialmente encobertos, e cerca de duas horas antes ou duas horas depois do meio-dia solar.

Outros fatores como as distorções da imagem provocadas pela curvatura das lentes da câmera e ângulo de visão influenciam diretamente na precisão das medições (Figura 4). O ângulo de visão determina a área que o sensor é capaz de capturar. Quanto maior o ângulo, maior é a área que a imagem é capaz de representar. A região central da imagem representa a área localizada imediatamente abaixo do sensor óptico, ou seja, é vista de cima e a luz refletida no alvo alcança o sensor com raios perpendiculares ao solo. As regiões mais marginais da imagem representam os limites do campo de visão do sensor e recebem os raios refletidos de forma oblíqua em relação ao solo, e passa a se enxergar o objeto pelas suas laterais, e não mais por cima (Figura 5).

Para que seja possível interpretar a imagem a ponto de conhecer a escala espacial entre ela e o mundo real, é necessário adicionar uma informação geográfica a ela que possa ser processada por um software de sistemas de informação geográfica (GIS). Este processo é chamado de georreferenciamento e consiste em atribuir coordenadas geográficas a cada pixel da imagem (Zecevivk et al., 2017). Esta porção da imagem representa um plano no solo e assim cada pixel lado-a-lado representa o mesmo tamanho em relação ao mundo real (Figura 5).

No entanto, um mapa dificilmente vai ser composto por apenas uma imagem. Dependendo do tamanho da área a ser observada e do detalhe pretendido, pode ser necessário o uso de várias imagens. O detalhe neste caso é chamado de GSD (*Ground Sample Distance*) e corresponde à área de cobertura de um pixel relativo ao mundo real. Para aumentar o nível de detalhe sem alterar o sensor, é necessário aproximar-se do alvo. E quanto mais próximo do alvo, menor a área que o sensor é capaz de capturar (Figura 6).

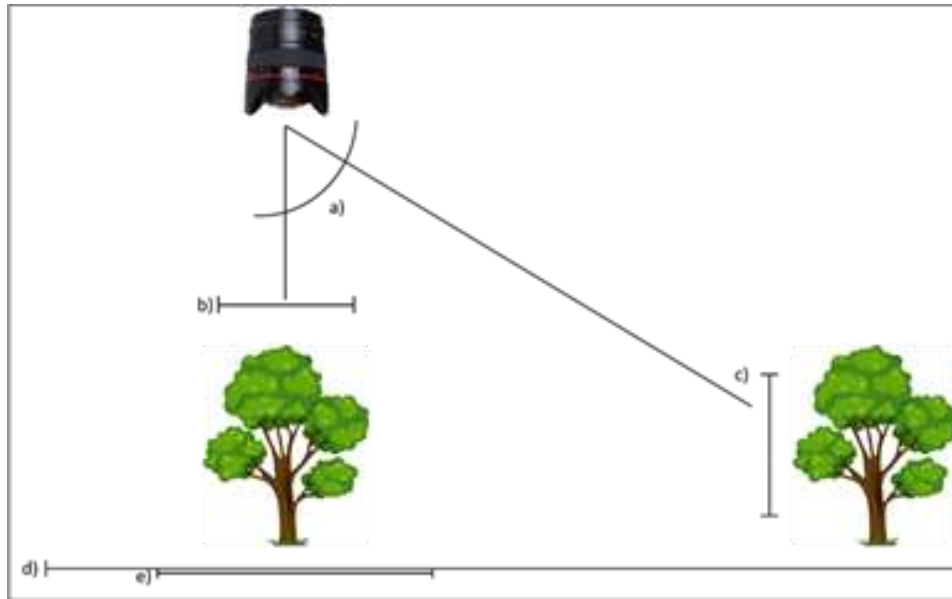


Figura 4. Representação sobre o ângulo de visão do sensor e a distorção da região marginal da imagem, onde a) ângulo de visão do sensor; b) alvo imediatamente abaixo do sensor, visto de cima; c) alvo na região marginal do campo de visão do sensor, visto pela lateral; d) área total representada; e) região central da imagem.



Figura 5. Imagem obtida por sensor óptico embarcado em um VANT, onde a) representa a região central da imagem e b) indica que o alvo é percebido lateralmente na região marginal da imagem. Seta no sentido em que a distorção aumenta.

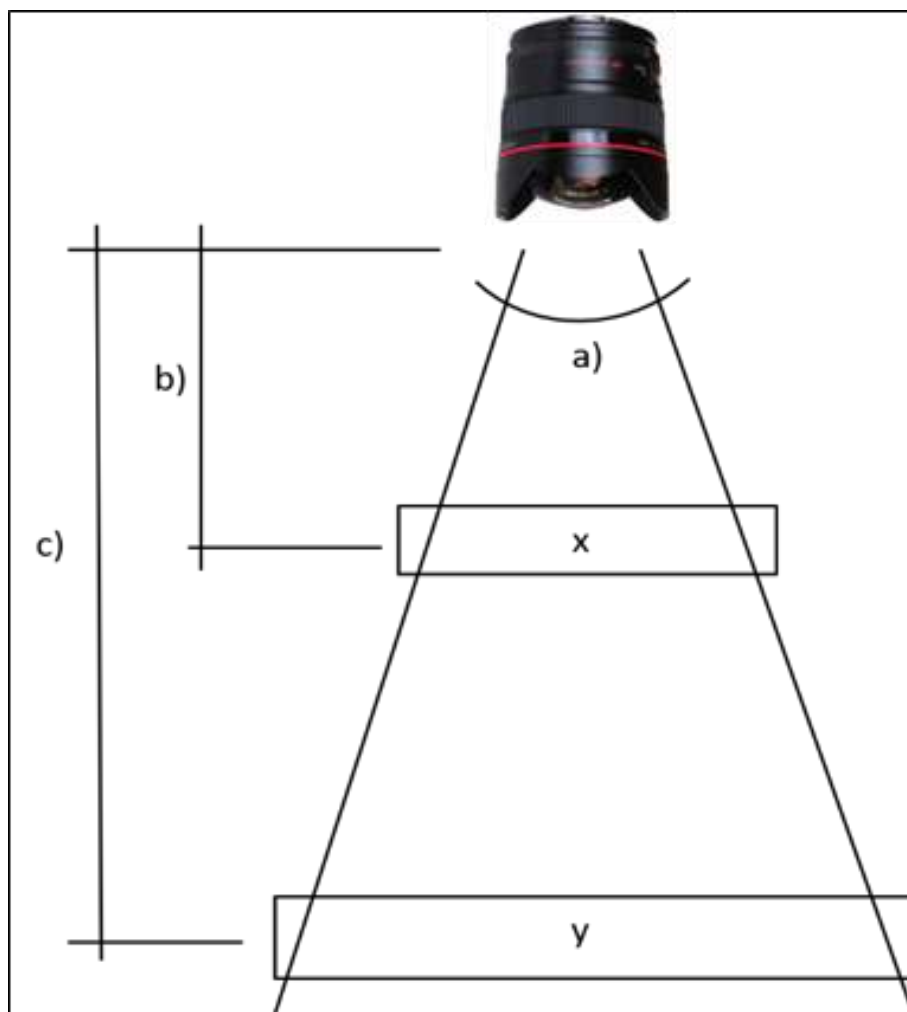


Figura 6. Representação do raio de visão de um sensor, onde: a) representa o ângulo de visão da lente; b) e c) são as distâncias entre o alvo e o sensor. No caso de b) a distância é menor e a lente captura a imagem de uma área (x) menor, enquanto c) é uma distância maior que permite que o sensor capture a imagem de uma área (y) maior.

Quando a área de cobertura de uma única imagem não é capaz de representar toda a área a ser estudada, é necessário fazer a união de várias imagens, de forma a se obter uma representação georreferenciável e homogênea da área. Assim, é necessário que o sensor realize uma varredura na área para obter-se um conjunto de imagens que unidas representam a totalidade da área amostrada. Esta varredura é realizada na forma de um polígono, percorrendo toda área com um padrão de linhas paralelas (Figura 7). O conjunto de imagens obtido com a varredura da área é tratado, de forma a selecionar as imagens elegíveis para a composição da representação da área. As imagens registradas durante as manobras da aeronave e eventuais imagens desfocadas

ou tremulas apresentam grandes distorções espaciais na imagem e não servem como material para a composição deste panorama composto.

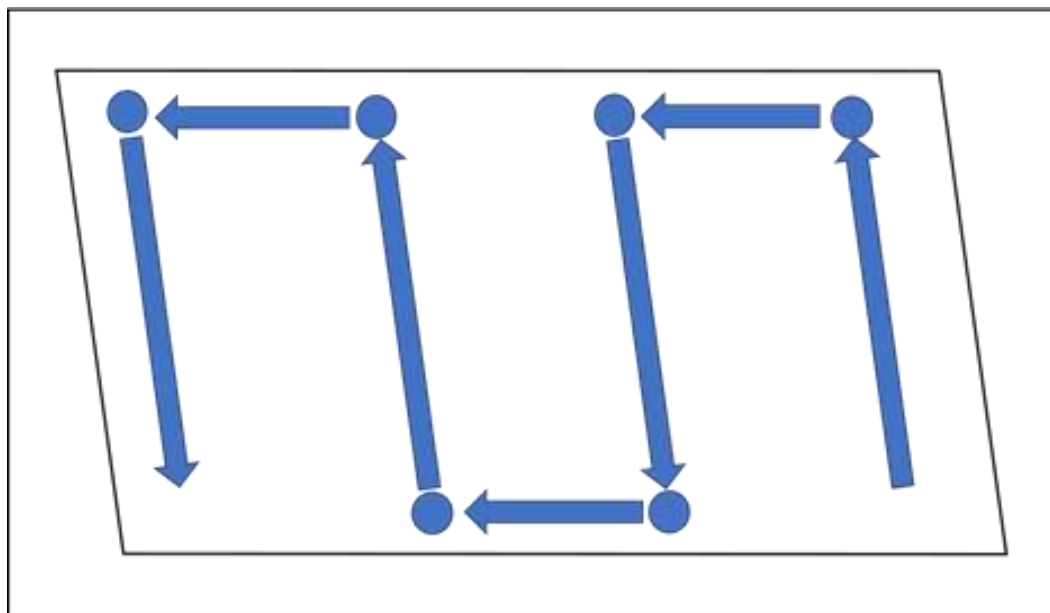


Figura 7. Trajeto percorrido pelo sensor para realizar a varredura da área. Setas indicam o sentido do movimento do VANT. Círculos representam os pontos de manobra.

Entretanto, a remoção de um determinado número de imagens pode prejudicar o processo pois é necessário que as imagens apresentem determinada sobreposição entre si (Figura 8A, B, C, D, E, F, G, H, I). Quanto maior a taxa de sobreposição entre as imagens melhor será a qualidade do produto. O panorama composto gerado a partir da união das imagens da área é chamado de ortomosaico. Esta é a representação geometricamente equivalente a mapas convencionais que mostram as posições ortográficas verdadeiras em uma cena. Para tanto as fotos que compõe o ortomosaico passam por uma transformação que corrige e elimina os efeitos de deslocamentos provocados pelo relevo do terreno, inclinação do sensor e efeitos de distorção das lentes. Assim em escala, uma medição da distância entre dois pontos diretamente na imagem é proporcional à medição obtida entre os dois mesmos pontos localizados no campo (Gosh & Kaabouch, 2016; Zhao et al., 2019).



Figura 8A. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.



Figura 8B. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.



Figura 8C. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.



Figura 8D. Sequência de imagens obtidas durante varredura da área de estudo. Números indicam a sequência da captura. Retângulos indicam a região central das imagens.

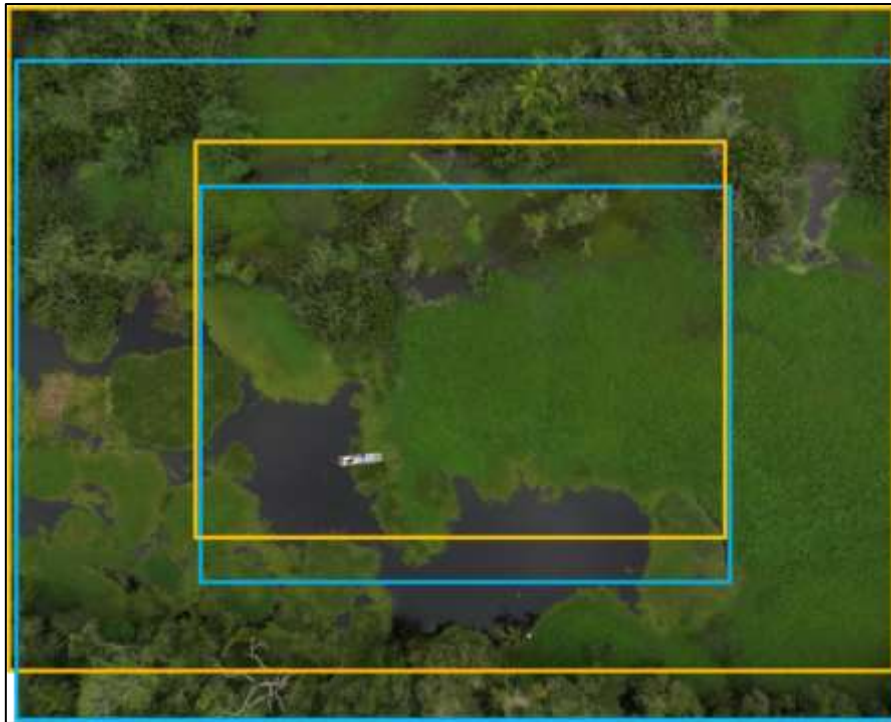


Figura 8E. Sobreposição de duas imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos menores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.



Figura 8F. Sobreposição de três imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos menores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.

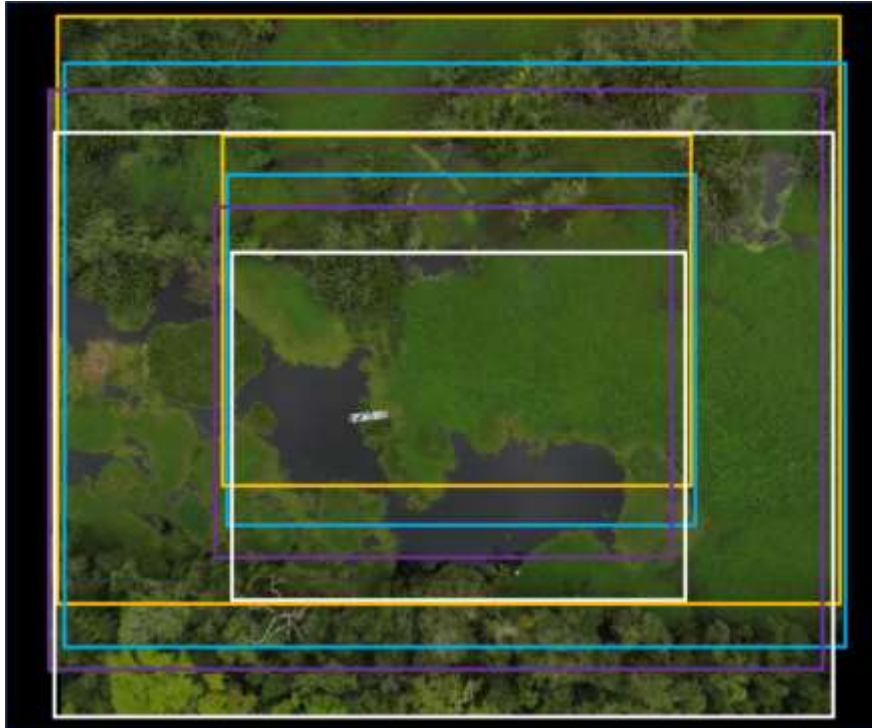


Figura 8G. Sobreposição das quatro imagens. Retângulos maiores indicam os limites da imagem e retângulos maiores indicam a região central da imagem. Retângulos de mesma cor pertencem a mesma imagem.

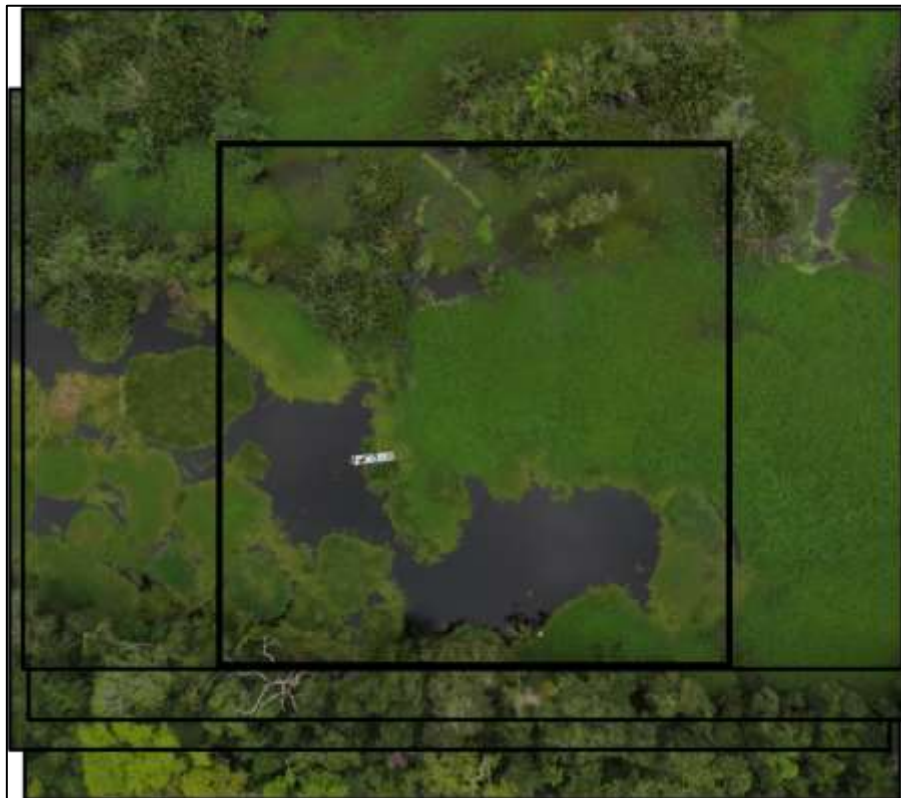


Figura 8H. Panorama composto formado pela união por sobreposição das quatro imagens.



Figura 8I. Produto da composição de imagens.

A criação do ortomosaico é feita de forma automática por *softwares* de fotogrametria que utilizam um algoritmo que executa as transformações necessárias nas imagens. Assim é gerado um panorama praticamente livre de distorções. Entre as soluções comerciais mais utilizadas estão o Pix4D (www.pix4d.com) e o Agisoft Metashape (anteriormente PhotoScan) (www.agisoft.com). Eles possuem várias funções além da criação de orthomosaicos (criam modelos digitais de superfície, modelos 3d com texturas e até georreferenciamento) e interfaces desenvolvidas para simplificar o uso. Porém o poder de processamento local necessário é alto e a composição de um orthomosaico pode levar dias (Zhao et al., 2019). Existem ainda serviços de processamentos de imagens em nuvem, que não precisam da instalação de um *software*. O processamento é todo realizado em um banco de dados remoto, como no caso da plataforma brasileira Mappa (www.mappa.ag). Desta forma

basta que as imagens sejam enviadas para o servidor remoto, que realiza todo o processamento.

Entretanto, estas plataformas possuem um custo elevado. Em abril de 2021, a licença de uso do Pix4D mapper custa US\$ 291,67 mensais. Já a licença obtida para o Agisoft Metashape é vitalícia e custa US\$ 3499,00. Além deste valor, o usuário ainda precisa de um equipamento robusto com poder de processamento adequado aos requerimentos do *software*. No caso da plataforma Mappa, os requerimentos computacionais são mínimos, porém o custo do plano mais simples (versão Pro) é de R\$ 4788,00.

Este plano permite o envio de até 1000 imagens para composição de ortomosaico, mas processa apenas imagens em RGB (red-green-blue, em inglês. Representa as cores primárias do espectro de luz visível). A outra versão, que permite o envio de até 3000 imagens por mapa e processa imagens multiespectrais custa R\$ 14.388,00. Se os custos com o equipamento para a captura das imagens (VANT, sensor, baterias, controle de voo) forem incluídos, o investimento pode duplicar o valor.

A alternativa disponível são as plataformas gratuitas, conhecidas como *Open Source*. São *softwares* que possuem código-fonte gratuito e que permitem várias alterações feitas pelos usuários, que frequentemente compartilham seus resultados (Zhao et al., 2019; Zecevic et al., 2017). A plataforma *OpenDroneMap* permite a criação de ortomosaicos, além de modelos digitais de superfície e terreno, porém não possui uma interface gráfica e seu uso exige algum conhecimento de programação, visto que as ações são realizadas através de linhas de comando.

Esta plataforma possui uma aplicação mais amigável ao usuário, o *WebODM*, que possui interface gráfica e embora custe US\$ 57,00, possui um preço muito menor que as outras plataformas. *Visual Software from Motion (VisualSFM)* é uma aplicação com interface gráfica que realiza a reconstrução 3d através da técnica chamada *Structure from Motion*, que permite a representação em três dimensões de uma cena através de uma série de imagens sobrepostas (Westoby et al., 2012).

Para o presente trabalho, o *software* que produziu o melhor resultado foi o DroneMapper, inicialmente desenvolvido especificamente para sensores da marca DJI, e que permitia a composição de ortomosaicos com até 150 imagens

de qualquer sensor, de maneira gratuita. No entanto este *software* passou por mudanças e não apresenta mais esta opção. Atualmente ele é pago, e é compatível com imagens obtidas por qualquer marca de sensor.

No entanto, o ortomosaico precisa ser georreferenciado com precisão e de forma a minimizar erros de posicionamento. O georreferenciamento consiste em atribuir coordenadas geográficas a cada pixel do ortomosaico com base em uma outra imagem ortorretificada que já esteja corretamente georreferenciada. Existem vários bancos de dados que disponibilizam estas imagens, geralmente produzidas por satélites. A aquisição delas pode ser de forma gratuita ou paga, e atualmente várias plataformas realizam este serviço, com a possibilidade de escolha entre imagens multiespectrais ou apenas em cores verdadeiras (Tabela 2). Os satélites mais populares que disponibilizam imagens gratuitamente são os da plataforma Landsat, Sentinel, CBERS, enquanto entre os satélites comerciais se destacam as plataformas IKONOS, Orbview e Spot (Zhu et al., 2018; Tian et al., 2019; Markert et al., 2018; Xia et al., 2018; Kaplan & Avdan, 2017).

O georreferenciamento pode ser realizado de forma direta ou indireta (Sanz-Ablanedo et al., 2018). Se o sensor possui parâmetros de orientação e posição precisos, a imagem pode ser diretamente georreferenciada sem a necessidade de uma intervenção manual. No entanto, os equipamentos embarcados com GPS comum frequentemente apresentam erros de posicionamento na ordem de alguns metros (Thin et al., 2016; Zhang et al., 2020).

A alternativa para solucionar este problema é a utilização do modo indireto, com a incorporação de pontos de controle no solo (Ground Control Points, GCPs). Os GCPs são pontos distribuídos ao longo da área de interesse, que podem ser localizados visualmente nas imagens aéreas obtidas pelo VANT. É necessário conhecer com precisão a posição geográfica dos GCPs para que a informação possa ser fornecida ao software de fotogrametria. Para isso uma inspeção da área é realizada para obter-se a geolocalização dos GCPs anteriormente ao voo. Com um equipamento de maior precisão (como um GPS diferencial, que garante precisão de 1,0 a 3,0 cm) é possível realizar o georreferenciamento do modo indireto mais precisamente (Gonzales-Garcia et al., 2020).

Tabela 2. Satélites para sensoriamento remoto (Zhu et al., 2018).

Mission	Country	Launch year	Sensors	Height of orbit (Km)	Swath (km)	Revist (day)	Bands	Spatial resolution
Landsat	USA	1978,1982,1984,1993,1999,2013,2020	Panchromatic and multispectral sensor	705	185,183	16	1-11	120 m, 100 m, 60 m, 30 m, 15 m
SPOT	USA	1986, 1990, 1993, 1998, 2002, 2012	Imaging spectroradiometer	694	60	1-3	Panchromatic, B, G, R, NIR	2.5 m, 5 m, 10 m, 20 m
ERS	ESA	1991, 1995	IR radiometer, microwave sounder, Radiometer, SAR	782 - 785	5–100 km (AMI) - 500 km (ATSR)	3, 35, 336	SAR	26 m across track and 6–30 m along track
RADARS AT	Canada	1995, 2007, 2018	SAR	793–821, 798, 592.7	45–100, 18–500, 5–500	1	SAR	8–100 m, 3–100 m, 3–100 m
MODIS	USA	1999, 2002	Imaging spectroradiometer	705	2230	1	36	1000 m, 500 m, 250 m
IKONOS	USA	1999	Imaging spectroradiometer	681	11,3	3	Panchromatic, B, G, R, NIR	Panchromatic:80 cm B, G, R, NIR:3.2 m
QuickBird	USA	2000, 2001	Imaging spectroradiometer	482, 45	16,8-18	2,4 - 5,9	Panchromatic, B, G, R, NIR	Panchromatic:65 cm/61 cm B, G, R, NIR:2.62 m/2.44 m
Envisat	ESA	2002	ASAR, MERIS, AATSR, RA-2, MWR, GOMOS, MIPAS, SCIAMACHY, DORIS, LRR	790	1150 km, 100 km, 400 km	35 days	15 bands (VIS, NIR), C-band	300 m, 30–150 m
GeoEye	USA	2008	Imaging spectroradiometer	681	15,2	8,3	Panchromatic, B, G, R, NIR	Panchromatic:41 cm B, G, R, NIR: 1.65 m
WorldView w	USA	2007, 2009, 2014, 2016.9	Imaging spectroradiometer, Laser altimeter	496, 770, 617, 681	17.6 km, 16.4 km, 13.1 km, 14.5 km	1.7, 1.1, <1, 3	Panchromatic; Panchromatic and eight multispectrum; Panchromatic and eight multispectrum; Panchromatic, B, G, R, NIR	Panchromatic 0.5 m; Panchromatic and stereo images:0.46 m multispectral: 1.84 m; Panchromatic 0.34 m and multispectral 1.36 m
Sentinel 1–6	ESA	2014, 2015, 2016, 2017, 2021	Radar and super-spectral imaging	693, 786, 814	250 km, 290 km, 250 km,	12,10, 27	C-SAR, 12 bands (VIS, NIR, SWIR), 21 bands (VIS, NIR), S-band & X-band	5–20 m, 5–40 m, 10 m & 20 m & 60 m

Porém as técnicas de georreferenciamento podem não ser aplicáveis dependendo do ambiente. Os GCPs devem manter-se exatamente na posição em que foram estabelecidos durante todo o imageamento. A ausência de solo firme em áreas alagadas torna impraticável a fixação dos GCPs. As margens

destas áreas podem ser utilizadas para esta finalidade, desde que sejam áreas de vegetação pouco densa ou de menor altura de dossel. Em caso de a área alagada estar envolta por vegetação densa e de dossel alto, outra abordagem deve ser utilizada.

Nestes casos, pode-se optar por uma abordagem informal para o georreferenciamento. A abordagem formal conta com coordenadas geográficas precisas e retornam como resultado um mapa com alta precisão. Para os casos que aceitam menor precisão, existe a possibilidade de o georreferenciamento ser realizado através da escolha de pontos de interesse em comum entre o ortomosaico obtido pela união das imagens obtidas pelo VANTs e uma imagem corretamente georreferenciada (Hackeloeer et al., 2014).

A necessidade por uma imagem de satélite ou outra fonte com coordenadas geográficas precisas se mantém, porém não é necessário que o usuário conheça precisamente a coordenada do ponto de interesse escolhido, desde que a correspondência é feita de forma visual ao encontrar similaridades entre as duas imagens. No caso de a região amostrada conter construções artificiais, os pontos de similaridade são observados mais facilmente. Já em áreas cobertas por vegetação e sem a presença de edificações construídas pelo homem, a técnica se torna mais desafiadora. Assim, se as imagens utilizadas como base para o georreferenciamento foram obtidas em um momento próximo da obtenção das imagens que compõe o ortomosaico, a visualização de pontos em comum é simplificada. O Pix4D e o Agisoft Metashape são comumente utilizados também no processo de georreferenciamento. No entanto o georreferenciamento informal pode ser realizado no software QGIS, um sistema de informações geográficas Open Source. Ele possui uma interface mais amigável ao usuário e ferramentas diretas para a escolha de pontos de similaridade entre duas imagens, sem o custo alto que as plataformas pagas demandam. No caso da presente metodologia, nós optamos por utilizar esta solução. Os mapas não demandam tamanha precisão, pois o objetivo principal é a identificação correta das espécies e a possibilidade de estimarmos a distribuição delas na área de estudo.

3.3 Aquisição das Imagens

Em novembro de 2017 monitoramos uma área do Rio Preto com um veículo aéreo não tripulado (VANT) modelo IRIS +, (3d Robotics), com peso de 1282 g e capacidade de carga de 400 g, com uma envergadura de 55 cm e altura de 10 cm (Figura 9).

Equipamos o VANT com uma câmera Canon PowerShot SX260 HS, com sensor dotado de resolução de imagem máxima de 12 megapixels (6,17mm x 4,55 mm), tamanho de imagem de 4000 x 3000 (colunas x linhas) e distância focal atual de 4,5 à 90mm. O sensor é capaz de captar dados do espectro de luz visível (380-750nm) através de um filtro RGB.



Figura 9. Veículo aéreo não tripulado – VANT modelo Iris+ 3D Robotics, utilizado para o mapeamento de bancos de macrófitas aquáticas na bacia hidrográfica do rio Itanhaém, Itanhaém – SP.

Nós utilizamos um barco de alumínio de 9,0 metros de comprimento para deslocamento até o local de estudo, que foi utilizado também como plataforma de decolagem e pouso do VANT (Figura 10A e B).



Figura 10A. Plataforma de pouso e decolagem.



Figura 10B. Momento de decolagem.

Para a realização das missões de voo contamos com uma estação de controle composta por um notebook com software de planejamento e controle de voo instalado. Para a aquisição das imagens nós definimos polígonos sobre a área de interesse, localizada por meio de uma imagem disponibilizada pelo serviço do *Google Satellite*. O *software* utilizado para o controle do voo foi o *Mission Planner*, uma estação terrestre completa utilizada em aplicação com um projeto de piloto automático em código aberto chamado *ArduPilot* (Figura 11). O sistema ainda contou com um módulo a rádio para recebimento de dados de

telemetria e envio de comandos, e um rádio controle para modo de voo manual durante a decolagem e pouso ou para eventuais manobras de emergência.

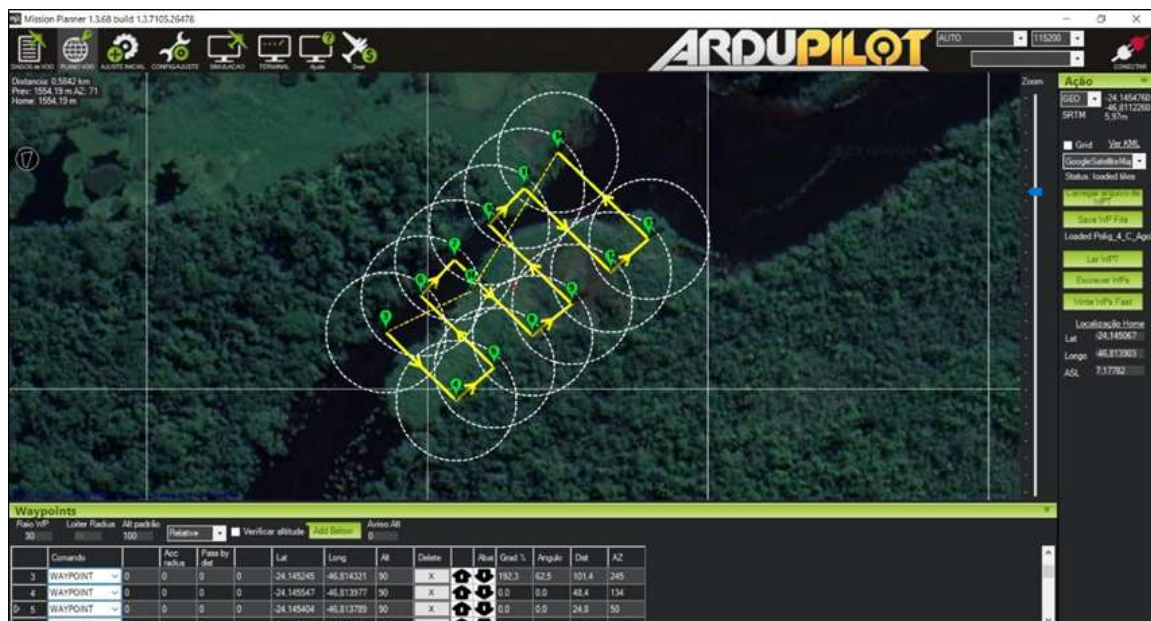


Figura 11. Interface do software *Mission Planner*, com o plano de voo de um dos polígonos. A linha amarela representa o percurso do Vant para a aquisição de imagens que compõe um dos polígonos.

Os voos para mapear a área foram realizados em Novembro de 2017. Durante a aquisição das imagens as condições meteorológicas variaram entre dias ensolarados ou parcialmente encobertos por nuvens, com ventos de leve a moderado. As imagens foram captadas em períodos de duas horas e meia antes ou depois do meio-dia solar, ou seja, fora dos períodos de sol à pino, a fim de reduzir reflexos da luz do sol. A umidade atmosférica aparente também foi monitorada, visto que os voos precisaram ser interrompidos a qualquer sinal de precipitação nos dias com maior cobertura de nuvens. Nós programamos a captura das imagens de forma a criar uma representação gráfica de toda a área de estudo. O tempo necessário de voo para cobrir uma área determinada varia de acordo com a altitude. Conforme a altitude aumenta, aumenta a área que o sensor óptico é capaz de capturar, diminuindo o tempo de voo.

A velocidade de voo do Vant variou conforme a intensidade e direção do vento e foi programada para que as imagens obtidas apresentassem uma sobreposição de pelo menos 80%. A cada voo nós programamos o sensor fotográfico para captar uma imagem por segundo. A tecnologia permite que a captura das imagens seja controlada pela estação de controle de voo através de

um cabo de comunicação entre o VANT e o sensor. No entanto nós não possuímos este recurso e o sensor foi programado para iniciar a captura momentos antes da decolagem. Assim o conjunto de imagens obtido possui várias imagens que foram capturadas fora da área de varredura. Cerca de 150 imagens foram obtidas por polígono. Nós removemos as imagens obtidas durante a decolagem, pouso e manobras e eventuais imagens desfocadas ou trêmulas. Cerca de 70 imagens foram utilizadas na composição de cada cena (figura 12).



Figura 12. Grid de imagens usadas para formação de um polígono.

Foi então criado um conjunto de imagens próprio para cada polígono. Para que seja possível obtermos uma visão única de toda a cena, estas imagens devem ser alinhadas em um panorama composto, ou seja, um mosaico formado pela junção de todas as imagens obtidas a cada voo. O mosaico criado (ou orthoimagem) é uma representação geometricamente equivalente a um mapa, pois as imagens que o compoem foram corrigidas de forma a minimizar os efeitos de deslocamento provocados pelo relevo do terreno, inclinação do sensor e efeitos de distorção da lente. Cada conjunto de imagens foi processado pelo *software Drone Mapper*, que permite gratuitamente a composição de orthoimagens de até 150 imagens individuais simultaneamente, obtidas por qualquer marca de sensor. Cada orthoimagem possui pixels com resolução (GSD – *Ground Sample Distance*) de cerca de 0,3m (Figura 13A, B, C, D e E).

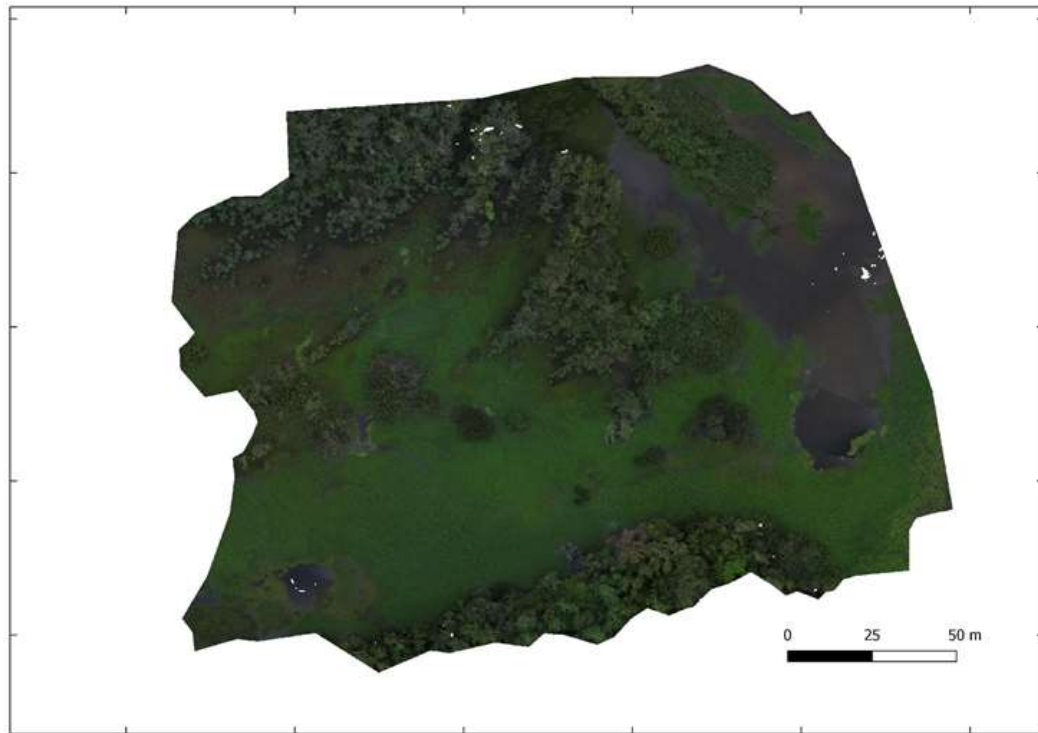


Figura 13A. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do *software Drone Mapper*.



Figura 13B. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do *software Drone Mapper*.

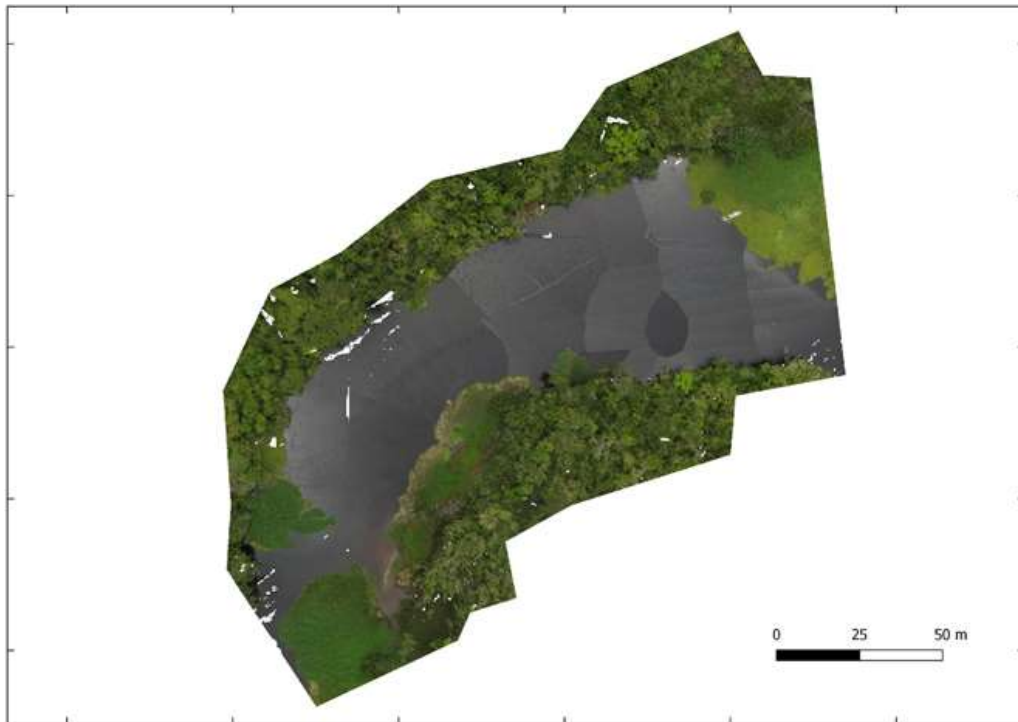


Figura 13C. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do *software Drone Mapper*



Figura 13D. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do *software Drone Mapper*



Figura 13E. Panorama composto obtido pelo alinhamento de imagens obtidas pelo Vant (orthoimagens) a 75m de altitude, por meio do *software Drone Mapper*

As Orthoimagens foram georreferenciadas sobre imagens providas pelo serviço do *Google Satellite* por meio do *Qgis*, um *software* de código aberto que apresenta vários recursos para utilização em sistemas de informação geográfica. Realizamos todas as interpretações das imagens com este software.

As orthoimagens foram georreferenciadas através de pontos em comum observados entre a orthoimagem e a camada do *Google Satellite*. O resultado do georreferenciamento das orthoimagens resultou em um mapa da área de interesse (Figura 14A). A partir deste momento, os orthomosaicos não mais são referidos individualmente, pois se tornaram o mapa.



Figura 14A. Mapa completo da área. Círculos indicam as áreas de interesse.

No início do projeto a nossa intenção era realizar um estudo detalhado de toda área. Entretanto não foi possível por questões de segurança no voo. A comunicação entre o Vant e a estação de controle só foi estável há uma distância de cerca de 150 m e embora o sinal entre o rádio controle e o Vant possuísse maior alcance, a aeronave não era mais visível a distancias superiores por conta do contraste com a vegetação do entorno. Sem os dados de telemetria da estação de controle e ao perder a visão do equipamento em voo, fica impossível realizar manobras em caso de emergência. Assim decidimos delimitar duas áreas de interesse contidas no mapa (Figuras 14B e C).

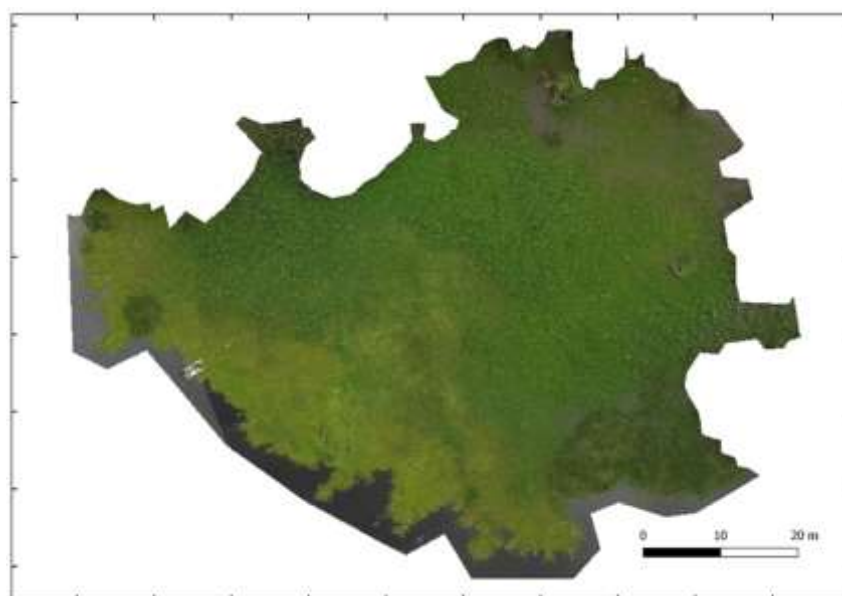


Figura 14B. Representação da área de interesse 1.

A escolha destas áreas seguiu alguns critérios, tais como a facilidade do acesso de barco às margens e por representarem a variabilidade natural da distribuição das espécies nas assembleias de macrófitas, ou seja, escolhemos propositalmente uma área vegetada composta por diversas espécies. Esperamos assim observar a capacidade do método de identificar com precisão as espécies que compõe a assembleia.

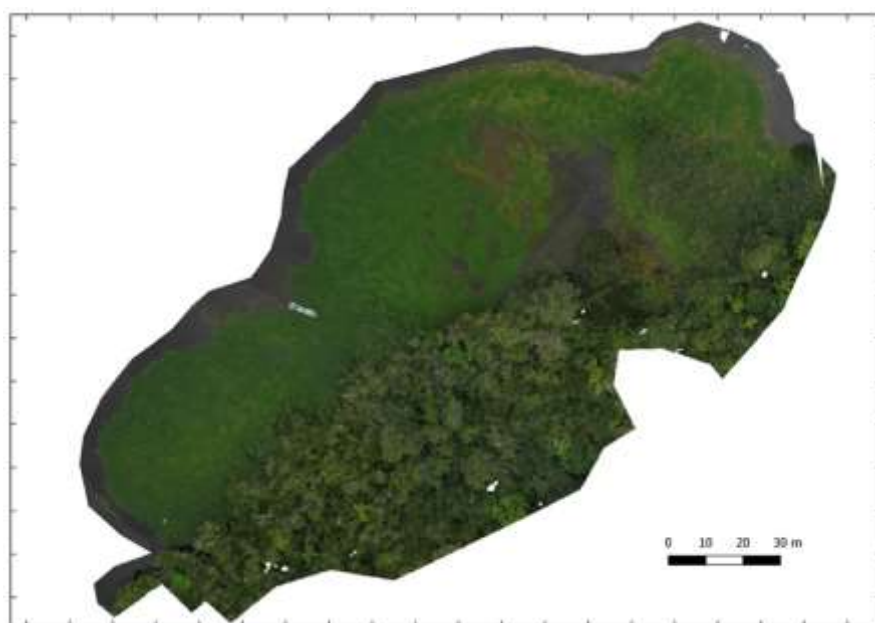


Figura 14C. Representação da área de interesse 2.

3.4 Identificação das espécies

Nós percorremos de barco as margens de toda a área vegetada a fim de identificar quais espécies estavam presentes. Por meio deste levantamento nós observamos a distribuição das espécies na área e confirmamos a presença das espécies citadas na literatura para a região (Umetsu et al., 2018; Nunes et al., 2020). Além da ocorrência, foi possível também observar a forma como as espécies se distribuem nas áreas de interesse, de modo a guiar a interpretação das imagens. Embora seja possível identificar as diferenças de coloração e textura no mapa proporcionadas pela morfologia das espécies que ocorrem nas assembleias, não foi possível identificarmos com precisão todas as espécies presentes nas imagens que compõe o mapa, apenas através da interpretação visual.

Por outro lado, a observação das espécies a partir da embarcação nos permitiu identificar apenas as espécies que ocorreram nas bordas dos bancos. Assim planejamos obter um novo conjunto de imagens aéreas como ferramenta para identificar as espécies nas regiões centrais dos bancos. Estas imagens foram obtidas através de novos voos. Nós escolhemos alguns pontos de amostragem dentro das áreasde interesse, com base nas diferenças de coloração e textura do mapa, bem como nas observações realizadas em campo.

O número de pontos em cada área foi limitado pela autonomia de voo do equipamento (cerca de 16 minutos). Assim um novo plano de voo a uma altitude de 15m foi estabelecido para cada área de interesse de maneira que o Vant sobrevoasse cada ponto (Figura 15A e B).



Figura 15A. Plano de voo utilizado para sobrevoos dos pontos selecionados na área de interesse A.



Figura 15B. Plano de voo utilizado para sobrevoo dos pontos selecionados na área de interesse B.

O voo foi programado de modo que o Vant baixou sua altitude para 2,5m ao sobrevoar cada ponto. Foi possível obtermos uma imagem (amostra) mais detalhada de uma área de 2,5 x 1,9 m sobre cada ponto, com resolução espacial de 0,09 cm. pixel⁻¹. Assim identificamos visualmente cada espécie presente na amostra (Figura 16).



Figura 16. Imagem adquirida a 2,5m de altitude. GSD = 0,09 cm.pixel⁻¹.

3.5 Interpretação das imagens das assembleias de macrófitas

Nós observamos as amostras e identificamos as espécies presentes. As imagens das áreas de interesse foram submetidas à interpretação manual realizada por um interpretador humano, que esteve presente durante a fase de identificação das espécies. Ao conhecer as espécies presentes e sua distribuição foi possível ao interpretador identificar a localização das espécies no mapa das áreas de interesse de acordo com a textura e coloração correspondentes. Assim o interpretador dividiu as áreas de interesse (A1 e A2) em subáreas para a elaboração de mapas temáticos. Nós atribuímos uma classe de vegetação para cada subárea composta pelas espécies dominantes. A interpretação manual foi realizada no *software Qgis*.

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

O levantamento que realizamos com auxílio de embarcação nas margens das áreas de interesse confirmou a presença das espécies de macrófitas reportadas na literatura, embora nem todas as espécies observadas previamente por outros autores ocorreram nas áreas de interesse (Tabela 3).

Tabela 3. Lista de táxons registrados nos bancos de macrófitas monitorados com auxílio de embarcação.

Espécie	Família	Hábito
<i>Polygonum acuminatum</i> Kunth	<i>Polygonaceae</i>	Emergente
<i>Urochloa arrecta</i> (Hack. ex. T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga	<i>Poaceae</i>	Emergente
<i>Oxycarium cubense</i> (Poepp. & Kunth) Lye	<i>Cyperaceae</i>	Epífita
<i>Salvinia molesta</i> D. S. Mitch	<i>Salvinaceae</i>	Flutuante livre
<i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Blonpl. ex Willd.) Heine	<i>Hydrocaritaceae</i>	Flutuante livre
<i>Pistia stratiotes</i> L.	<i>Araceae</i>	Flutuante livre
<i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth	<i>Pontederiaceae</i>	Enraizada flutuante
<i>Nymphaea rudgeana</i> G. Mey	<i>Nymphaeaceae</i>	Enraizada flutuante

Limnobiium laevigatum ocorreu na porção mais a oeste da área de estudo. *P. acuminatum* e *U. arrecta* ocorreram por toda a área do mapa, e praticamente sempre juntas, uma dando sustentação à outra. Em todas as áreas que *L. laevigatum* ocorreu, *S. molesta* e *O. cubense* ocorreram simultaneamente. A espécie *S. molesta* ocorreu nos espaços entre as plantas de *U. arrecta* e *P. acuminatum*. *L. laevigatum* apresentou a mesma distribuição, embora menos frequente. *E. azurea* ocorreu formando touceiras, geralmente com a presença de *U. arrecta* e *P. acuminatum* utilizando-a como sustentação. A *N. rudgeana* ocorreu em pequenas formações nas bordas dos bancos de macrófitas. *P. stratiotes* foi a espécie observada com menos frequência e ocorreu em pequenos bolsões entre as outras espécies e com poucos indivíduos (Tabela 3). Produzimos um mapa de vegetação (Figura 17) com base na interpretação do mapa da área de estudo (Figura 14A) e nas observações feitas em campo.

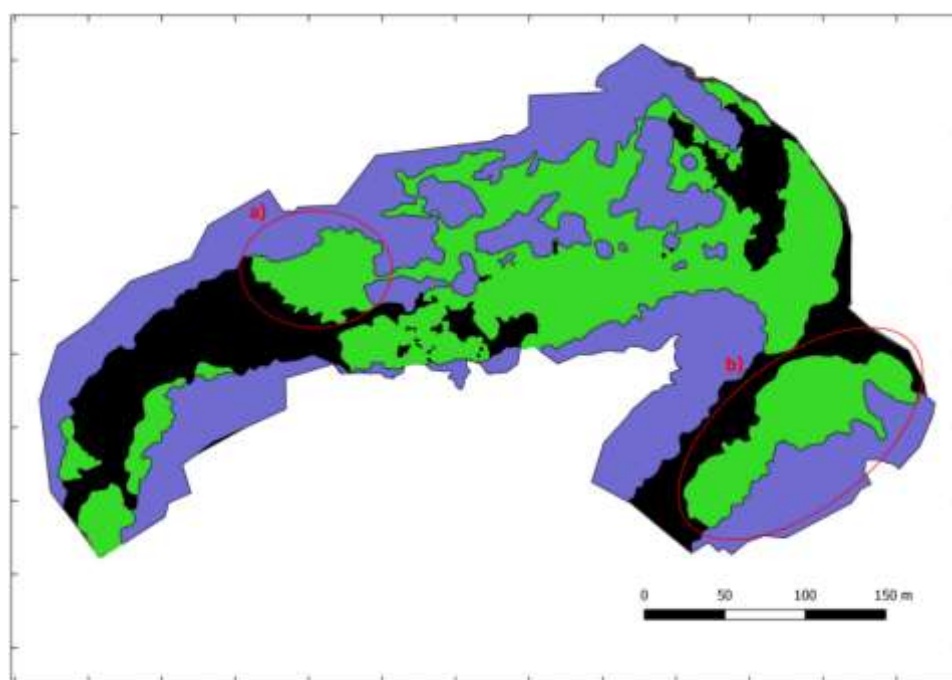


Figura 17. Mapa de vegetação da área total, realizado por interpretação manual. Áreas em azul representam a mata de restinga; áreas em verde representam as macrófitas flutuantes; as áreas em preto representam a água. Círculos vermelhos indicam as áreas de interesse 1(a) e 2 (b).

O mapa de vegetação permite a noção aproximada da proporção das classes atribuídas a cada subdivisão da área de estudo (Figura 17). Cerca de 100328 m² foram amostrados pelo VANT a 75 m de altura. Uma porção de 19673 m² (19,6% da área total) foi classificada como lâmina d'água. A mata de restinga

representa 42449 m² (42,3%) e 38206 m² (38,1%) da área total é composta por macrófitas. É possível diferenciar visualmente os padrões de coloração e textura proporcionados pela morfologia das espécies de macrófitas no mapa da área de estudo (Figura 14A). Entretanto, a afirmação sobre quais espécies ocorrem nas áreas que ficaram fora do nosso alcance de visão durante o monitoramento *in situ* tem sua acurácia prejudicada, desde que até mesmo o reconhecimento de objetos maiores é prejudicado em imagens com o GSD que obtivemos para o mapa (0,3 m) (figura 18A).

Nós fomos capazes de reconhecer certos padrões comuns ao longo do mapa que remetem a determinada espécie, porém é possível reconhecer apenas a espécie dominante entre possivelmente várias espécies responsáveis por exibir aquele padrão de coloração e textura (figura 19). Nós observamos durante o monitoramento que dificilmente uma espécie ocorre sozinha em uma área e várias outras espécies podem se estabelecer nos espaços entre os indivíduos. Classificar a imagem apenas com base nas observações em campo e no mapa pode resultar em uma amostragem incompleta.

Assim nós planejamos uma investigação mais detalhada sobre a ocorrência das macrófitas nas porções dos bancos que ficavam fora do alcance da amostragem. Não foi possível amostrar em detalhes toda a área, então restringimos o estudo detalhado a duas áreas de interesse. A área A foi escolhida por ser uma porção da área vegetada que possui grande diversidade de espécies e é onde algumas delas ocorrem com maior expressividade. A área B foi escolhida pois do ponto de vista do barco a diversidade de espécies daquela área era restrita a praticamente duas espécies, porém a vista aérea permitiu identificar manchas onde possivelmente outras espécies estavam presentes.



Figura 18. Imagem obtida por sensor embarcado em um VANT a cerca de 15 m de altitude (a) e amostra da imagem obtida com $GSD = 0,3$ m.



Figura 19. representação de um segmento do mapa da área de estudo. Letras e círculos representam padrões de coloração e textura reconhecidos pelo interpretador. a), f) e h) representam a predominância de *Eichhorna. azurea*; c), e) e g) foram reconhecidos predominantemente como *Polygonum. acuminatum*; b) e d) representam a ocorrência predominantemente de *Limnobium laevigatum*.

Os mapas das áreas de interesse foram interpretados de forma que os limites de cada padrão de cor e textura fosse delimitado (figuras 20 e 21).

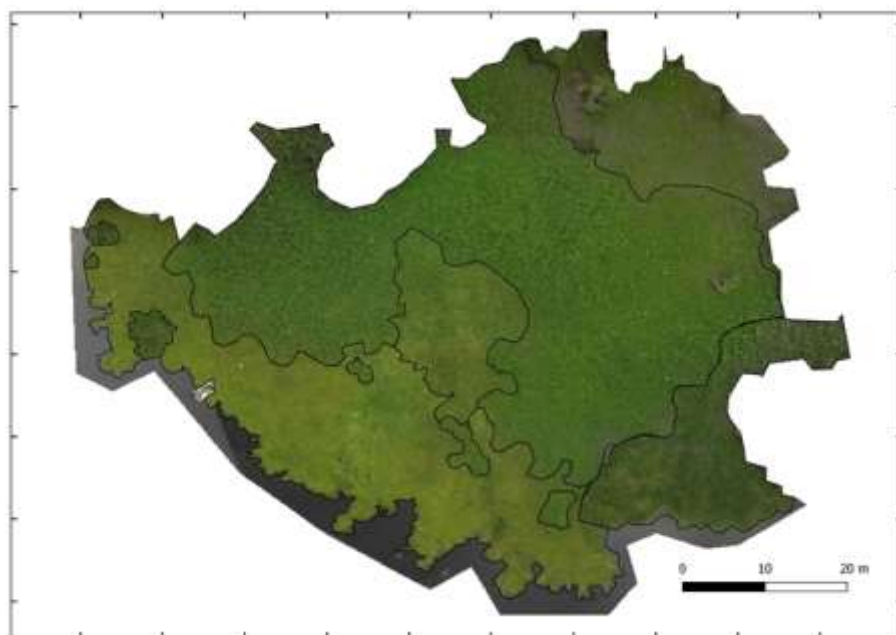


Figura 20. Área de interesse A com as demarcações dos limites dos padrões de cor e textura observados pelo interpretador.

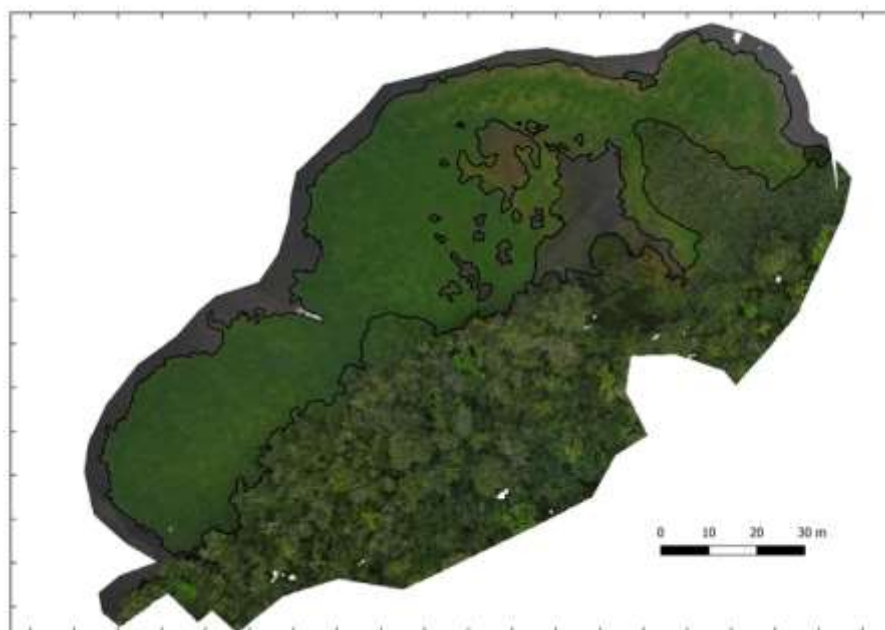


Figura 21. Área de interesse B com as demarcações dos limites dos padrões de cor e textura observados pelo interpretador.

Assim nós definimos as classes de vegetação para cada subdivisão e elaboramos um mapa de vegetação de cada área (figuras 22 e 23). Cada classe de vegetação foi definida com base nas imagens do mapa e nas observações no campo. A área de interesse A foi dividida em quatro subdivisões e a cada uma foi atribuída uma classe de vegetação (Figura 20) (Tabela 4).

Tabela 4. Área (m²) e classe de vegetação atribuída a cada subdivisão da área de interesse A.

A1	Área (m ²)	Classe de vegetação
S1	1765,54	<i>P. acuminatum</i> <i>U. arrecta</i>
S2	390,74	<i>E. azurea</i>
S3	922,5	<i>L. laevigatum</i> <i>S. molesta</i> <i>O. cubense</i> <i>P. stratiotes</i>
S4	235,28	<i>P. acuminatum</i> <i>L. laevigatum</i> <i>S. molesta</i>

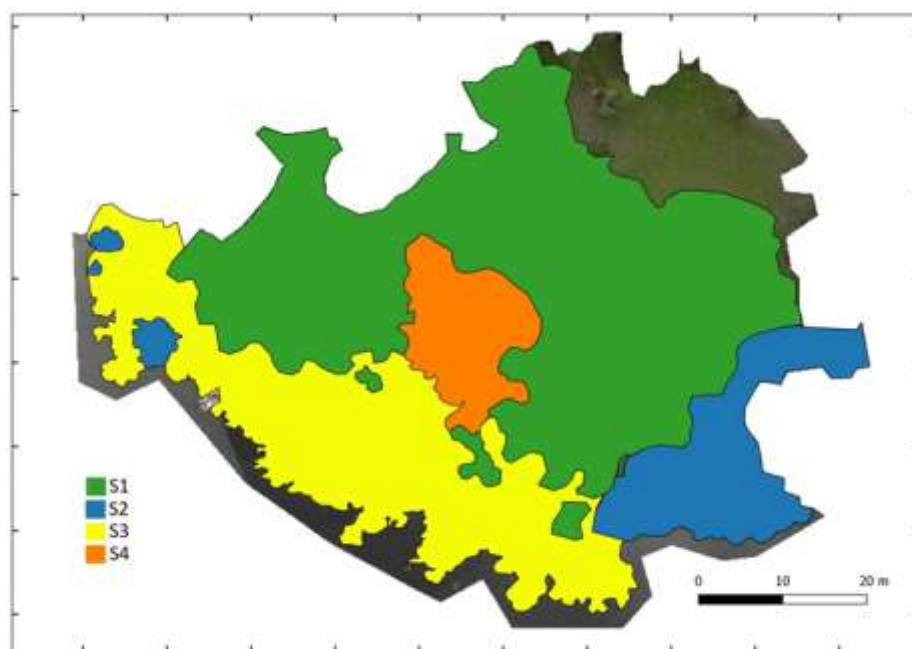


Figura 22. Mapa de vegetação da área de interesse A. Cores representam as classes de vegetação.

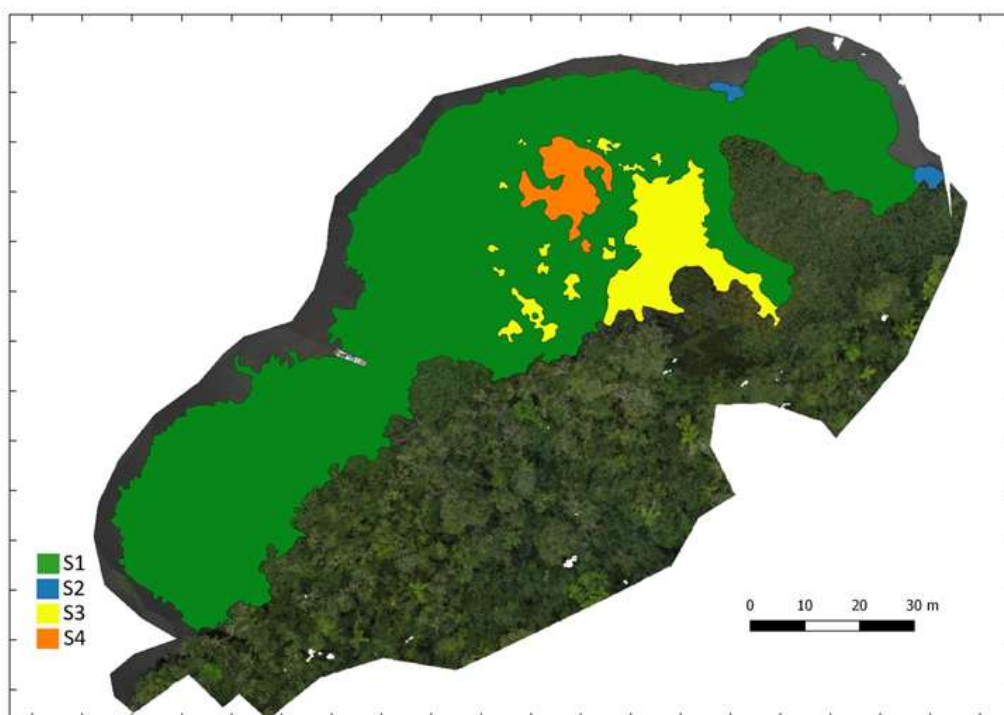


Figura 23. Mapa de vegetação da área de interesse B. Cores representam as classes de vegetação.

A subdivisão S1 (1765,54 m²) é composta predominantemente por *P. acuminatum* e *U. arrecta*. A classe de vegetação atribuída à S2 (390,74 m²) é composta predominantemente por *E. azurea*. A subdivisão S3 (922,5 m²) foi a mais

diversa, e reconhecemos a ocorrência predominantemente de *L. laevigatum*, *S. molesta*, *O. cubense* e *P. stratiotes*. Na subdivisão S4 ocorreram predominantemente *P. acuminatum*, *L. laevigatum* e *S. molesta*. A área de interesse B foi dividida em quatro subdivisões (figura 21) (tabela 5).

Tabela 5. Área (m²) e classe de vegetação atribuída a cada subárea da área de interesse B.

A2	Área (m ²)	Classe de vegetação
S1	5551,01	<i>P. acuminatum</i> <i>U. arrecta</i>
S2	35,56	<i>E. azurea</i>
S3	545,12	<i>S. molesta</i>
S4	189,22	<i>S. molesta</i>

A subdivisão S1 (5551,01m²) foi a maior delas e apresentou o padrão de predominância de *P. acuminatum* e *U. arrecta*. *E. azurea* ocorreu predominantemente em S2 (35,56 m²) e seu padrão visual no mapa é bastante característico. As subdivisões S3 (542,12 m²) e S4 (189,22 m²) pareciam bolsões onde as espécies flutuantes livres costumam ocorrer. Como *L. laevigatum* não foi avistado nesta parte do mapa, atribuímos a ocorrência predominante de *S. molesta* para estas subáreas.

Embora tenha sido possível reconhecer todas estas informações através do mapa, alguns detalhes não foram esclarecidos. Em S3 e S4 da área B por exemplo, não foi possível reconhecer quais espécies estão presentes. A classe de vegetação pôde ser atribuída por conta do conhecimento que tínhamos da área. Algo similar ocorreu em S1 da área A. Nós reconhecemos a presença predominante de *P. acuminatum* e *U. arrecta*, porém a proporção de ocorrência entre elas não pode ser identificada através da imagem do mapa. Nós observamos durante o monitoramento em campo que outras espécies podem ocorrer nos espaços vazios entre os indivíduos de *P. acuminatum* e *U. arrecta*, mas não foi possível observarmos esta dinâmica no mapa, já que a imagem não possui resolução suficiente para identificar o que ocorre nestes espaços.

Assim realizamos a amostragem de alguns pontos dentro das assembleias de macrófitas a fim de elucidar estas questões (figuras 24 e 25). Na área de interesse A escolhemos seis pontos de amostragem (figura 24). Os pontos A, B e C pertencem a subdivisão S1, que apresenta padrão visual bastante homogêneo. Os três pontos foram escolhidos a fim de verificarmos se ocorrem diferenças na distribuição das macrófitas dentro de uma subdivisão.

O ponto D foi posicionado para observarmos como é a distribuição dentro da porção mais interna de uma faixa com predominância de *E. azurea*. O ponto E foi definido para observarmos se ocorre diferença na distribuição das macrófitas entre as bordas de S3 e a porção mais interna da subdivisão. O ponto F foi escolhido de forma a identificarmos com maior precisão a distribuição das espécies na subdivisão S4, que está localizada longe da embarcação e fora do alcance de nossa visão durante o monitoramento *in situ*. Na área de interesse B escolhemos oito pontos de amostragem (figura 25). Na subdivisão S1 selecionamos seis pontos de amostragem (A, B, C, D, E e F). Esta subdivisão é a maior do estudo, e é formada por uma faixa contínua e longa com predominância de *P. acuminatum* e *U. arrecta*.

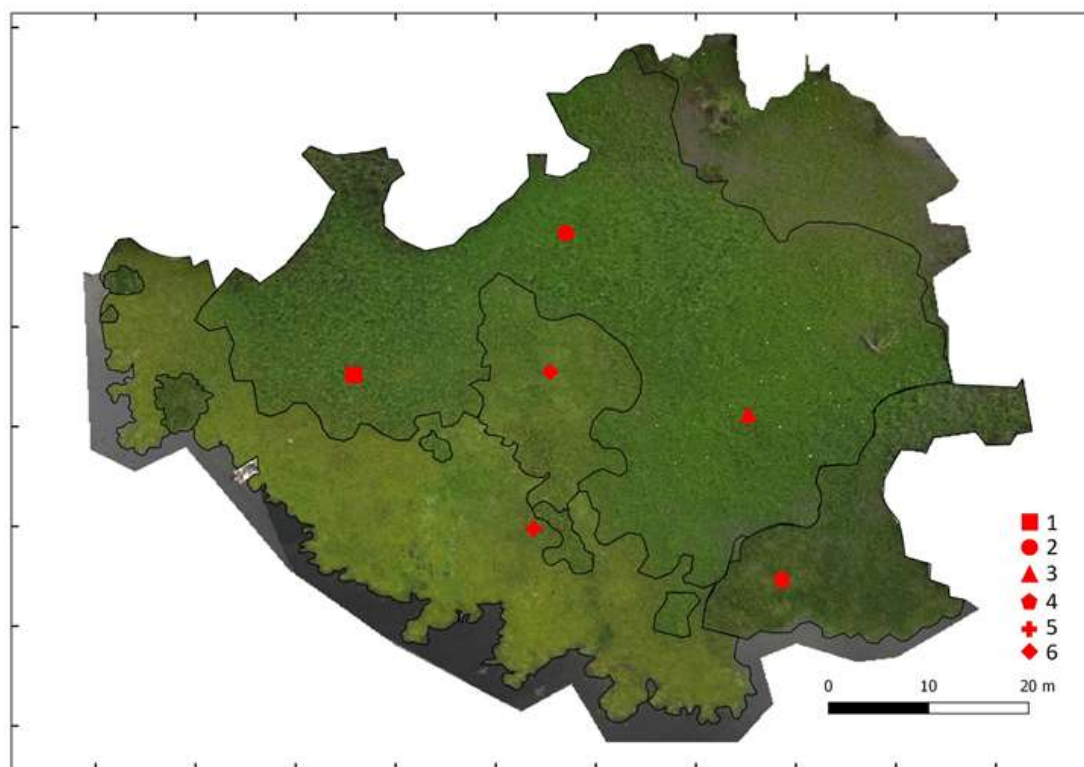


Figura 24. Localização dos pontos de amostragem na área de interesse A.

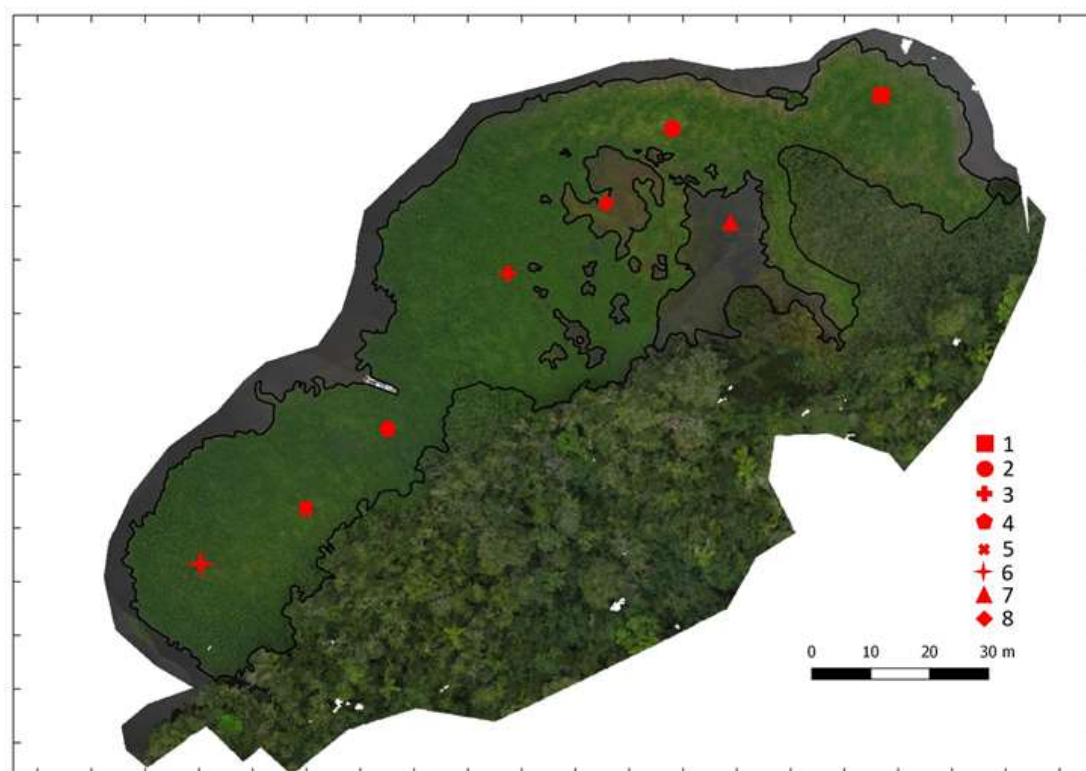


Figura 25. Localização dos pontos de amostragem na área de interesse B.

Selecionamos estes pontos de amostragem para observarmos como varia a distribuição das espécies de macrófitas nesta faixa. Os pontos G e H foram posicionados para observarmos as subdivisões 3 e 4, que estavam fora do alcance de visão no monitoramento. A subdivisão 2 não foi amostrada por estar na porção marginal do banco. As imagens obtidas nos pontos de amostragem permitiram identificar visualmente a ocorrência de cada espécie (tabela 6).

Assim, foi possível observar algumas informações sobre a ocorrência das espécies que não foram observadas no mapa. As imagens obtidas a 75 m de altura proporcionaram um mapa com resolução (GSD) de 30 cm, ou seja, cada pixel representado na imagem é maior que a maioria dos indivíduos vegetais da cena. Por outro lado, nos pontos de sobrevoo a 2,5 m as amostras possuem resolução de menos de um centímetro, que permitiram a identificação visual das espécies de macrófitas.

Tabela 6. Lista de espécies identificadas em cada ponto de amostragem nas áreas de interesse A e B.

Pontos	Área A	Área B
Ponto 1	<i>Salvinia molesta</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Eichhornia azurea</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Eichhornia azurea</i>
	<i>Oxycaryum cubense</i>	
	<i>Urochloa arrecta</i>	
Ponto 2	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Urochloa arrecta</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
Ponto 3	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Salvinia molesta</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
	<i>Urochloa arrecta</i>	
Ponto 4	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Urochloa arrecta</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
	<i>Oxycarium cubense</i>	
	<i>Salvinia molesta</i>	
	<i>Eichhornia azurea</i>	
Ponto 5	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Salvinia molesta</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
	<i>Limnobium laevigatum</i>	
	<i>Oxycarium cubense</i>	
	<i>Pistia stratiotes</i>	
Ponto 6	<i>Polygonum acuminatum</i>	<i>Polygonum acuminatum</i>
	<i>Salvinia molesta</i>	<i>Urochloa arrecta</i>
	<i>Limnobium laevigatum</i>	
	<i>Oxycaryum cubense</i>	
	<i>Pistia stratiotes</i>	
Ponto 7		<i>Polygonum acuminatum</i>
		<i>Urochloa arrecta</i>
		<i>Oxycaryum cubense</i>
		<i>Salvinia molesta</i>
Ponto 8		<i>Polygonum acuminatum</i>
		<i>Urochloa arrecta</i>
		<i>Oxycaryum cubense</i>
		<i>Salvinia molesta</i>

Assim, foi possível observar algumas informações sobre a ocorrência das espécies que não foram observadas no mapa. As imagens obtidas a 75 m de altura proporcionaram um mapa com resolução (GSD) de 30 cm, ou seja, cada pixel

representado na imagem é maior que a maioria dos indivíduos vegetais da cena. Por outro lado, nos pontos de sobrevoo a 2,5 m as amostras possuem resolução de menos de um centímetro, que permitiram a identificação visual das espécies de macrófitas.

As espécies identificadas no mapa na área de interesse A foram confirmadas pela observação das amostras (figuras 26A). A amostra do ponto 1 (figura 26A e B) revelou a ocorrência de *E. azurea*, *S. molesta* e *O. cubense*, além de *P. acuminatum* e *U. arrecta* (tabela 6).



Figura 26A. Amostra do ponto 1 da área de interesse A em S1

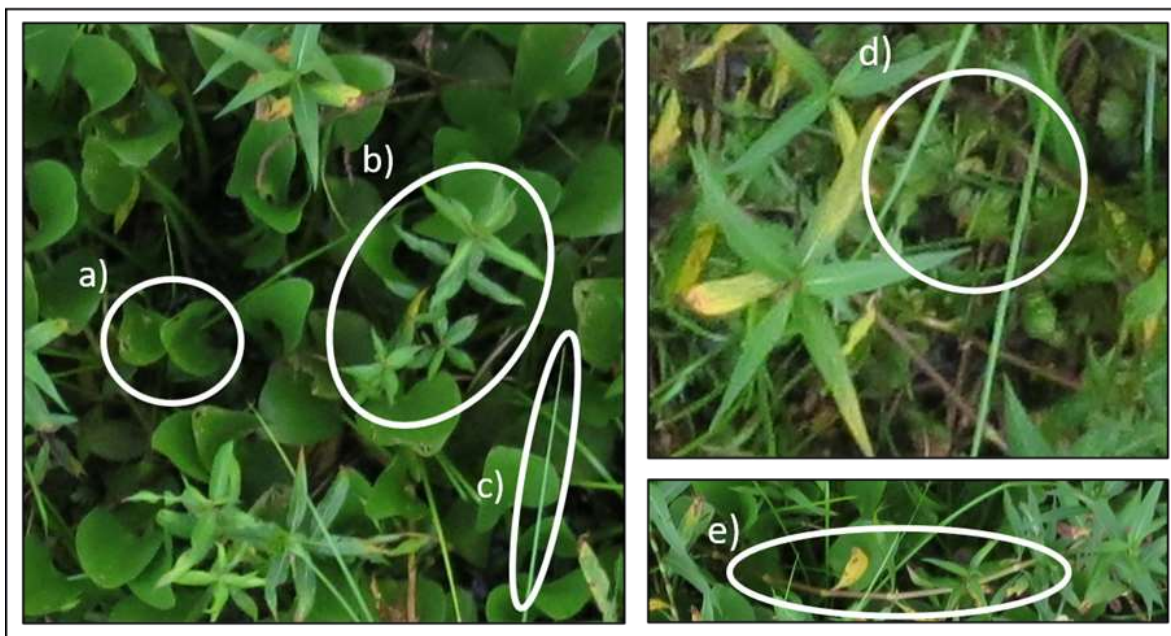


Figura 26B. Espécies identificadas na amostra do ponto 1, na área A. Letras e círculos representam as espécies identificadas, sendo elas: a) *Eicchornia azurea*; b) *Polygonum acuminatum*; c) *Oxycarym cubense*; d) *Salvinia molesta* e e) *Uroclora arrecta*.

A amostra do ponto 2 (figura 27A e B) confirmou a ocorrência de *P. acuminatum* e *U. arrecta*.



Figura 27A. Amostra do ponto 2 da área de interesse A em S1.



Figura 27B. Espécies identificadas na amostra do ponto 2 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Estolões e folhas de *U. arrecta* (a) ocorrendo entre o *Polygonum acuminatum* (b).

No entanto, observamos na amostra do ponto 3 (figura 28A e B) que *S. molesta* ocorre uniformemente entre os indivíduos de *U. arrecta* e *P. acuminatum*. As amostras destes três pontos foram diferentes entre si, embora todas estejam localizadas dentro da classe de vegetação atribuída a S1.



Figura 28A. Amostra do ponto 3 da área de interesse A em S1.



Figura 28B. Espécies identificadas na amostra do ponto 3 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Círculos marcados com a) indicam a presença de *Salvinia molesta*; b) indica a presença de *Urochloa arrecta*. Ambas as espécies ocorrendo dentro de uma faixa vegetada contínua de *Polygonum acuminatum*.

A amostra do ponto 4 (figura 28 A e B) revelou que as espécies *P. acuminatum*, *U. arrecta*, *O. cubense* e *S. molesta* ocorrem entre os indivíduos de *E. azurea* na subdivisão S3 da área de interesse A.



Figura 29A. Amostra do ponto 4 da área de interesse A em S2.

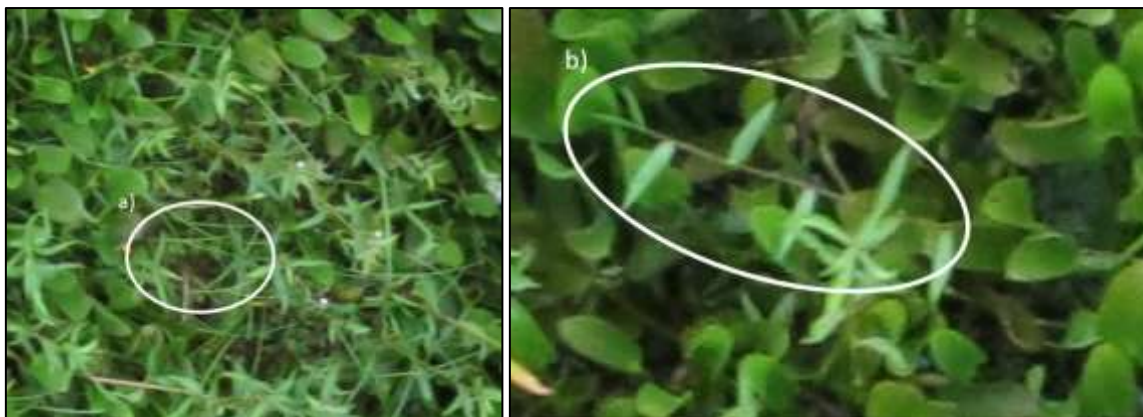


Figura 29B. Espécies identificadas na amostra do ponto 4 da área de interesse A. Letras e círculos representam as espécies identificadas. Em a) é possível observar *O. cubense* ocorrendo junto de *Eicchornia crassipes* e *Polygonum acuminatum*, enquanto b) contém um dos poucos indivíduos de *Urochloa arrecta* encontrados nesta faixa contínua de *Eicchornia crassipes*.

Atribuímos à subdivisão S3 a classe de vegetação que continha *L. laevigatum*, *S. molesta*, *O. cubense* e *P. stratiotes*. No entanto, a amostra do ponto 5 revelou a ocorrência de *E. azurea* e *P. acuminatum* (figura 30A e B).



Figura 30A. Amostra do ponto 5 da área de interesse A em S3.

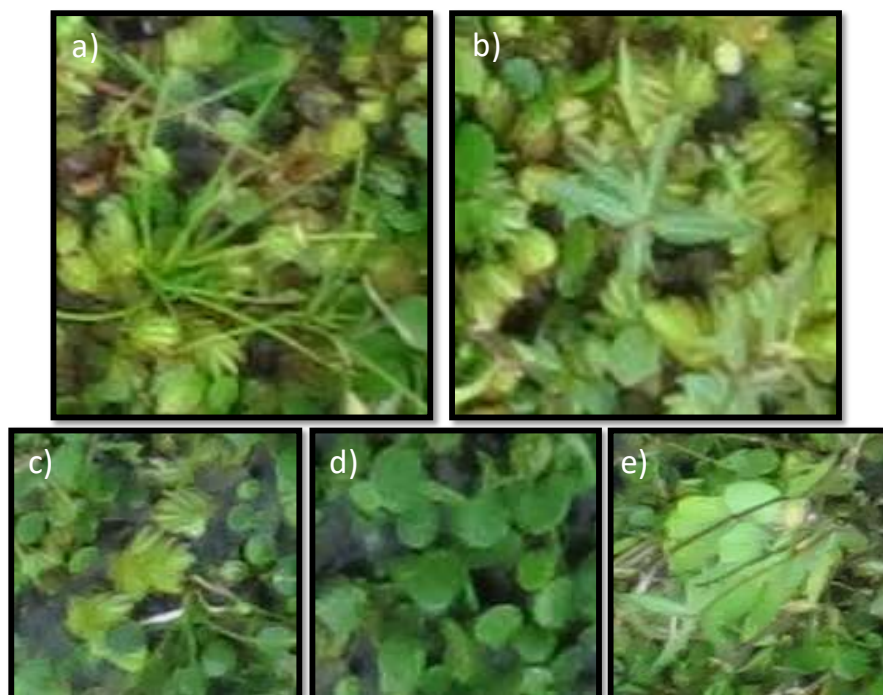


Figura 30B. Espécies identificadas na amostra do ponto 5 da área de interesse A. Letras representam as espécies identificadas. a) *Oxycarium cubense* entre *Limnobium laevigatum* e *Salvinia molesta*; b) *Polygonum acuminatum* sobre *Limnobium laevigatum* e *Salvinia molesta*; c) *Salvinia molesta* entre *Limnobium laevigatum*; d) *Limnobium laevigatum*; e) *Pistia stratiotes* entre *Limnobium laevigatum* e *Polygonum acuminatum*.

A amostra do ponto 6 revelou que a subdivisão S3 e S4 possuem as mesmas espécies (figura 31A e B).



Figura 31A. Amostra do ponto 6 da área de interesse A em S3.

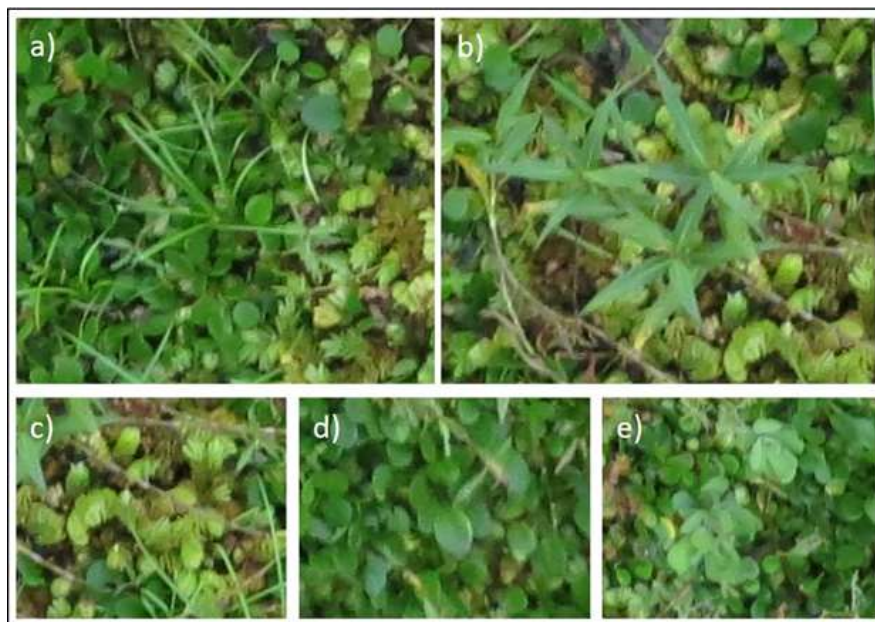


Figura 31B. Espécies identificadas na amostra do ponto 6 da área de interesse A. Letras representam as espécies identificadas. a) *O. cubense* sobre *Limnobium laevigatum* e *Salvinia molesta*; b) *Polygnum. acuminatum* sobre *Limnobium laevigatum* e *Salvinia molesta*; c) *Salvinia molesta*; d) *Limnobium laevigatum*; e) *Pistia stratiotes* junto com *Limnobium laevigatum*.

Os pontos de amostragem de 1 a 6 foram posicionados ao longo da subdivisão S1 da área de interesse B (figura 25). Nestes 6 pontos nenhuma espécie além de *P. acuminatum* e *U. arrecta* foi identificada (figuras 32A e B, 33A e B, 34, 35, 36, 37).



Figura 32A. Amostra do ponto 1 da área de interesse B em S1.



Figura 32B. Detalhe da amostra do ponto 1 na área de interesse B. A figura representa a densa colonização de *Urochloa arrecta* e *Polygnum acuminatum*.



Figura 33A. Amostra do ponto 2 da área de interesse B em S1.



Figura 33B. Detalhe da amostra do ponto 2 na área de interesse B. A figura representa uma condição similar à do ponto anterior, com colonização densa de *Urochloa arrecta* e *Polygonum acuminatum*, que recobrem toda a lâmina d'água e não sobra espaço para outras espécies se estabelecerem.



Figura 34. Amostra do ponto 3 da área de interesse B em S1. Colonização densa de *Urochloa arrecta* e *Polygonum acuminatum*.



Figura 35. Amostra do ponto 4 da área de interesse B em S1. Colonização densa de *Urochloa arrecta* e *Polygonum acuminatum*.



Figura 36. Amostra do ponto 5 da área de interesse B em S1. Colonização densa de *Urochloa arrecta* e *Polygonum acuminatum*.



Figura 37. Amostra do ponto 6 da área de interesse B em S1. Colonização densa de *Urochloa arrecta* e *Polygonum acuminatum*.

Observamos na amostra do ponto 7 que a subdivisão S2 da área de interesse B é predominantemente composta por *S. molesta*, juntamente com *O. cubense*, *U. arrecta* e alguns indivíduos de *P. acuminatum* (figura 38A e B). A amostra do ponto 8 (figura 39A e B) também foram predominantemente compostas de *S. molesta*, com a ocorrência mais esparsa de *O. cubense*, *U. arrecta* e alguns indivíduos de *P. acuminatum* na maior porção da imagem, e uma faixa menor à direita da imagem contendo uma colonização mais densa de *P. acuminatum* e *U. arrecta*.



Figura 38A. Amostra do ponto 7 da área de interesse B em S3.

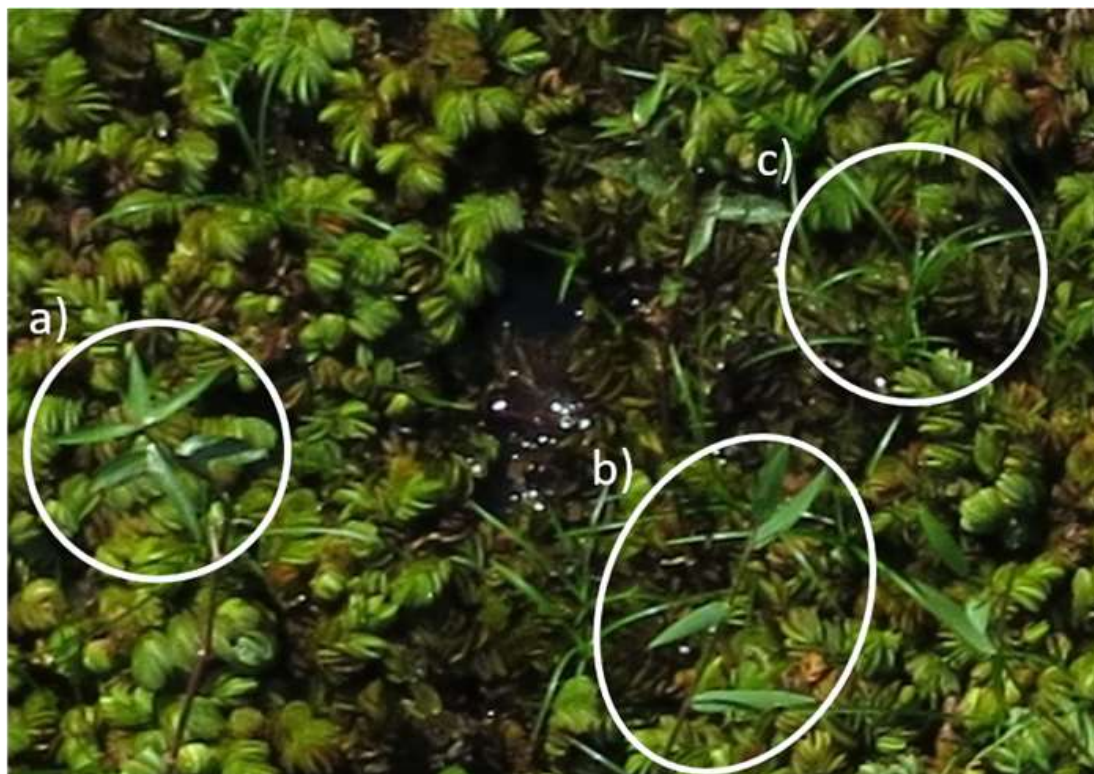


Figura 38B. Detalhe da amostra do ponto 7. Letras e círculos representam as espécies identificadas. a) *Polygonum acuminatum*; b) *Urochloa arrecta*; c) *Oxycarium cubense*. Todas ocorrem sobre biomassa densa de *Salvinia molesta*.



Figura 39A. Amostra do ponto 8 da área de interesse B em S4.



Figura 39B. Detalhe da amostra do ponto 8. Letras e círculos representam as espécies identificadas. a) *Oxcarium cubense*; b) *Polygnum acuminatum*; c) *Urochloa arrecta*. Todas ocorrem sobre biomassa densa de *Salvinia molesta*.

O presente trabalho demonstra que o método utilizando o VANT nos permitiu a correta identificação visual das macrófitas aquáticas, com a possibilidade de elaboração de um mapa com a distribuição de espécies. Qualquer área pode ser mapeada desta forma, mas são necessários alguns requisitos para a identificação correta das espécies de macrófitas aquáticas com uso das imagens obtidas com estas técnicas. Destacamos alguns pontos importantes para que o método possibilite a confecção do mapa de distribuição de espécies. Inicialmente deve-se realizar voos em maior altitude, no nosso caso a de 75 m, para obtermos uma imagem do banco de macrófitas com manchas de diferentes colorações e texturas. Estas manchas indicam ocorrência de diferentes espécies ou de associações de espécies.

Em uma segunda etapa deve-se realizar voos em menor altitude, no nosso caso 15 m, com pontos de amostragem, no nosso caso 2,5 m de altitude, que permitiu a aquisição de imagens com alta definição. Estas imagens de alta definição permitiram a observação da forma, textura e coloração de folhas e rizomas e, assim a identificação dos vegetais a nível de espécie. Destacamos um terceiro ponto muito importante que é o conhecimento preciso das espécies que ocorrem na região. Os estudos sobre ecologia de macrófitas aquáticas na bacia do rio Itanhaém vem sendo desenvolvidos há cerca de três décadas e incluem levantamentos de espécies em vários rios da bacia em várias ocasiões, com destaque aos mais recentes (Amorin et al, 2015; Umetsu et al, 2018 e Nunes et al, 2019).

Algumas das espécies que ocorrem na bacia são de fácil identificação, tais como, *Pistia stratiotes* e *Eichhornia azurea*. Por outro lado, espécies de Ciperáceas e Poáceas necessitam de exemplares com inflorescências e a identificação deve ser efetuada por um especialista da área. Ao longo dos últimos 30 anos consultamos vários taxonomistas especialistas em diferentes famílias e também especialistas em macrófitas aquáticas.

A identificação de espécies vegetais por imagens tem sido pesquisada por diversos autores (Chaudhury & Jon, 2020; Fan et al, 2015; Jin et al, 2015). Vários métodos automáticos de reconhecimento de características visuais são propostos para reconhecimento de espécies vegetais, porém eles podem não ser

eficientes o suficiente para criar um sistema de classificação devido à diversidade de formas, texturas e sobreposição das estruturas (uma folha que cubra parcialmente outra, por exemplo). Estas técnicas podem não ser suficientes para representar fielmente um cenário (Zhang et al., 2018). E as imagens obtidas diretamente pelo VANT não fornecem detalhes suficientes sobre as estruturas das macrófitas para a correta identificação por um taxonomista profissional.

Assim o método proposto nesta pesquisa é recomendado quando o objetivo é o estudo mais detalhado da área, pois será necessário realizar a coleta adequada de material vegetal para a identificação das espécies realizada por um profissional. Áreas onde as espécies presentes sejam bem conhecidas, corretamente identificadas e documentadas (como é o caso da bacia do rio Itanhaém) estão prontas para a realização da coleta de imagens. Uma outra área no Brasil em que é possível usar o VANT para mapeamento de espécies de macrófitas aquáticas é a planície de inundação do alto rio Paraná. Nesta área, vários trabalhos sobre macrófitas aquáticas tem sido realizados pelo grupo de pesquisa do Dr. Sidinei Magela Thomáz (p. ex. Murphy et al, 2003).

Em áreas em que o conhecimento sobre macrófitas aquáticas é escasso nós recomendamos um estudo de campo bastante aprofundado de levantamento e distribuição de espécies anterior ou paralelo ao uso do VANT. Outro ponto importante é que o interpretador (res) das imagens seja pesquisador com conhecimento e experiência em macrófitas na região de estudo. Para a correta correspondência entre a imagem e o cenário real, é preciso que o interpretador saiba reconhecer as espécies visualizadas na área, bem como sua distribuição. Para tal é de suma importância que o interpretador conheça presencialmente a área de estudo. Assim é possível reconhecer os padrões de coloração e textura da imagem e posicioná-los no espaço o que torna possível a correspondência entre o que foi visualizado no campo e a representação da imagem. Embora existam, métodos que envolvem interpretação automática e que podem ser mais eficientes em relação ao tempo em áreas maiores, quando o nível de detalhe desejado é maior e demanda maior recisão taxonômica, a interpretação anual é superior à classificação automática em relação a precisão da identificação

e a resolução da informação (Husson et al., 2016). O interpretador considera uma variedade de elementos de interpretação graças à precisão do olho humano e alta resolução das imagens, tais como tamanho, forma, sombras, cor, textura, posicionamento e associações com elementos do entorno (Husson et al., 2013).

O uso do VANT para estudos sobre distribuição de macrófitas aquáticas também é muito útil para se avaliar a dinâmica temporal dos bancos. Neste caso não existe a necessidade de elaboração de mapas georeferenciados como fizemos em nosso estudo. Sobre-voos sobre um banco de macrófitas ou um polígono pré-estabelecido, com um plano de voo definido, podem ser realizados em diferentes intervalos de tempo. As imagens de alta resolução que permitem a identificação das espécies podem ser realizadas mensalmente, ou em outros intervalos de tempo, e podem indicar mudanças temporais na presença ou abundância das espécies. Nossos resultados mostraram grandes áreas com a presença de *U. arrecta* e *P. acuminatum* nas duas áreas de interesse. *U. arrecta* (anteriormente denominada *Urochloa subquadrifida*) é uma espécie exótica e invasora em vários locais e tem um efeito negativo na diversidade de espécies (Michelan et al, 2010).

Nos primeiros estudos sobre macrófitas em Itanhaém nós não observamos esta espécie, mas a partir de 2010 esta espécie passou a formar grandes bancos e em 2012 nós realizamos um estudo que mostrou que *U. arrecta* reduzia a riqueza e a diversidade de espécies quando comparada com a espécie nativa *E. azurea* (Amorim et al, 2015). Os resultados que obtivemos com o VANT mostram que *P. acuminatum* está ocorrendo conjuntamente com *U. arrecta* o que pode indicar que a espécie invasora esteja sendo substituída por espécie nativa. Novos sobre-voos na área que estudamos podem indicar se a redução de *U. arrecta* está ocorrendo.

Concluimos que o VANT é mais uma ferramenta que pode ser utilizada em estudos sobre ecologia e distribuição de macrófitas aquáticas, mas a presença em campo continua sendo fundamental para a obtenção de resultados de qualidade.

5. CONCLUSÃO

Através das imagens obtidas pelo VANT foi possível mapear uma área e reconhecer macrófitas aquáticas. O campo de visão do monitoramento de macrófitas aquáticas foi estendido, desde que áreas que não estavam acessíveis com a embarcação puderam ser amostradas. Criamos mapas de vegetação que permitiram conhecer as proporções das áreas vegetadas, tanto em área total quanto quando decidimos explorar uma área menor com maior detalhe, e ainda identificamos com precisão as espécies que ali ocorrem.

Esta metodologia é mais adequada para o monitoramento de áreas menores devido às limitações do equipamento e das técnicas. Em caso de monitoramento em rios mais estreitos ou lagos, a estação de controle pode ficar mais próxima do polígono de voo, evitando perdas de telemetria e de visada do VANT. Em regiões onde as áreas vegetadas ficam cercadas por terra firme as técnicas de imageamento com pontos de controle pode ser aplicada de forma a facilitar o georreferenciamento dos ortomosaicos e aumentar sua precisão. E todo este estudo fica documentado, de forma a ser possível a criação de um banco de dados para estudo posterior, ou até para realizar um estudo sobre a variação temporal na composição e forma de bancos de macrófitas.

6. REFERÊNCIAS

ADAM, E.; MUTANGA, O.; RUGEGE, D. **Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review.** Wetlands Ecology and Management, v. 18, n. 3, p. 281-296, 2010

ALBRIGHT, T.P.; ODE, D.J. **Monitoring the dynamics of an invasive emergent macrophyte community using operational remote sensing data.** Hydrobiologia, v. 661, n. 1, p. 469-474, 2011.

ALVARADO, S.T.; SILVA, T.S.F.; ARCHIBALD, S. **Management impacts on fire occurrence: A comparison of fire regimes of African and South American tropical savannas in different protected areas.** Journal of environmental management, v. 218, p. 79-87, 2018.

ANDERSON, K.; GASTON, K.J. **Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology.** Frontiers in Ecology and the Environment, v. 11, n. 3, p. 138-146, 2013.

BOLPAGNI, R.; BRESCIANI, M.; LAINI, A.; PINARDI, M.; MATTA, E.; AMPE, E.M.; GIARDINO, C.; VIAROLI, P.; BARTOLI, M. **Remote sensing of phytoplankton-macrophyte coexistence in shallow hypereutrophic fluvial lakes.** Hydrobiologia, v. 737, n. 1, p. 67-76, 2014.

BORBINHA, J.; ROMANETS, Y.; TELES, P.; CORISCO, J.; VAZ, P.; CARVALHO, D.; BROUWER, Y.; LUÍS, R.; PINTO, L.; VALE, A.; VENTURA, R.; AREIAS, B.; REIS, A.B.; GONÇALVES, B. **Performance Analysis of Geiger-Müller and Cadmium Zinc Telluride Sensors Envisaging Airborne Radiological Monitoring in NORM Sites.** Sensors, v. 20, n. 5, p. 1538, 2020

BOURGOIN, C.; BETBEDER, J.; COUTERON, P.; BLANC, L.; DESSARD, H.; OSZWALD, J.; ROUX, R.L.; REYMONDIN, L.; MAZZEI, L.; SIST, P.; GOND, V. **UAV-based canopy textures assess changes in forest structure from long-term degradation.** Ecological Indicators, v. 115, p. 106386, 2020.

CAMARGO, A.F.M.; PEREIRA, L.A. **Ecologia da bacia hidrográfica do Rio Itanhaém. In: Alexandre Schiavetti; Antonio Fernando Monteiro Camargo. (Org.). Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações.** 1ed.Ilhéus: Editus-Editora da UESC, 2002, v. 1, p. 239-256

CAMARGO, A.F.M.; CANCIAN, L.F. **Ecologia da bacia do rio Itanhaém: características limnológicas e uso do solo. In: Maria Eugênia Bruck de Moraes; Reinaldo Lorandi. (Org.). Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas.** 1ed.Ilhéus: Editus, 2016, v., p. 195-216.

CONNOR, D.T.; MARTIN, P.G.; SMITH, N.T.; PAYNE, L.; HUTSON, C.; PAYTON, O.D.; YAMASHIKI, Y.; SCOTT, T. B. **Application of airborne photogrammetry for the visualisation and assessment of contamination migration arising from a Fukushima waste storage facility.** Environmental pollution, v. 234, p. 610-619, 2018.

CROFT, M.V.; CHOW-FRASER, P. **Non-random sampling and its role in habitat conservation: a comparison of three wetland macrophyte sampling protocols.** Biodiversity and Conservation, v. 18, n. 9, p. 2283-2306, 2009.

DUDLEY, B.; DUNBAR, M.; PENNING, E.; KOLADA, A.; HELLSTEN, S.; OGGIONI, A.; BERTRIN, V.; ECKE, F.; SØNDERGAARD, M. **Measurements of uncertainty in macrophyte metrics used to assess European lake water quality.** Hydrobiologia, v. 704, n. 1, p. 179-191, 2013.

FISHER, S.G.; CARPENTER, S.R. **Ecosystem and macrophyte primary production of the Fort River, Massachusetts.** Hydrobiologia, v. 49, n. 2, p. 175-187, 1976.

GHOSH, D.; KAABOUCH, N. **A survey on image mosaicing techniques.** Journal of Visual Communication and Image Representation, v. 34, p. 1-11, 2016.

GONZÁLEZ-GARCÍA, J.; SWENSON, R.L.; GÓMEZ-ESPINOSA, A. **Real-time kinematics applied at unmanned aerial vehicles positioning for orthophotography in precision agriculture.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 177, p. 105695, 2020.

HACKELOEER, A.; KLASING, K.; KRISP, J.M.; MENG, L. **Georeferencing: a review of methods and applications**. Annals of GIS, v. 20, n. 1, p. 61-69, 2014.

HUSSON, E.; HAGNER, O.; ECKE, F. **Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation**. Applied vegetation science, v. 17, n. 3, p. 567-577, 2014.

HUSSON, E.; ECKE, F.; REESE, H. **Comparison of manual mapping and automated object-based image analysis of non-submerged aquatic vegetation from very-high-resolution UAS images**. Remote Sensing, v. 8, n. 9, p. 724, 2016.

HUSSON, E.; REESE, H.; ECKE, F. **Combining spectral data and a DSM from UAS-images for improved classification of non-submerged aquatic vegetation**. Remote Sensing, v. 9, n. 3, p. 247, 2017.

JÄNES, H.; KOTTA, J.; PÄRNOJA, M.; CROWE, T.P., RINDI, F.; ORAV - KOTTA, H. **Functional traits of marine macrophytes predict primary production**. Functional Ecology, v. 31, n. 4, p. 975-986, 2017.

KAPLAN, G.; AVDAN, U. **Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery**. European Journal of Remote Sensing, v. 50, n. 1, p. 137-143, 2017.

KHAN, A.; KHAN, U.; WALEED, M.; KHAN, A.; KAMAL, T.; MARWAT, S.N.K.; Maqsood, M.; AADIL, F. **Remote sensing: An automated methodology for olive tree detection and counting in satellite images**. IEEE Access, v. 6, p. 77816-77828, 2018.

KLEMAS, V. **Remote sensing of riparian and wetland buffers: an overview**. Journal of coastal research, v. 30, n. 5, p. 869-880, 2014.

KOTTA, J.; KUTSER, T.; TEEVEER, K.; VAHTMÄE, E.; PÄRNOJA, M. **Predicting species cover of marine macrophyte and invertebrate species combining hyperspectral remote sensing, machine learning and regression techniques**. PloS one, v. 8, n. 6, p. e63946, 2013.

LI, H.L.; XU, Y.S.; WANG, Y.Y.; YU, N.Q.; ZHANG, M.X.; LEI, G.C.; YU, F.H. **Does clonal fragmentation of the floating plant Eichhornia crassipes affect the**

growth of submerged macrophyte communities? Folia Geobotanica, v. 50, n. 3, p. 283-291, 2015.

MARKERT, K.N.; CHISHTIE, F.; ANDERSON, E.R.; SAAH, D.; GRIFFIN, R.E. **On the merging of optical and SAR satellite imagery for surface water mapping applications.** Results in Physics, v. 9, p. 275-277, 2018.

MARKOVIC, D.; CARRIZO, S.; FREYHOF, J.; CID, N.; LENGYEL, S.; SCHOLZ, M.; KASPERDIUS, H.; DARWALL, W. **Europe's freshwater biodiversity under climate change: distribution shifts and conservation needs.** Diversity and Distributions, v. 20, n. 9, p. 1097-1107, 2014.

MASCARÓ, O.; ALCOVERRO, T.; DENCHEVA, K.; DÍEZ, I.; GOROSTIAGA, J.M.; KRAUSE-JENSEN, D.; BALSBY, T.J.S.; MARBÀ, N.; MUXIKA, I.; M. NETO, J.N.; NIKOLIĆ, V.; ORFANIDIS, S.; PEDERSEN S.; PÉREZ, M.; ROMERO, J. **Exploring the robustness of macrophyte-based classification methods to assess the ecological status of coastal and transitional ecosystems under the Water Framework Directive.** Hydrobiologia, v. 704, n. 1, p. 279-291, 2013.

MATESE, A.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S.F.; GENESIO, L.; VACCARI, F.P.; PRIMICERIO, J.; BELLI, C.; ZALDE, A.; BIANCONI, R.; GIOLI, B. MATESE, Alessandro et al. **Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture.** Remote Sensing, v. 7, n. 3, p. 2971-2990, 2015

MORI, G.B. **Distribuição de macrófitas aquáticas em relação a um gradiente ambiental na bacia do Rio Itanhaém, SP.** 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2014.

NUNES, L.S.C.; CAMARGO, A.F.M. **Do interspecific competition and salinity explain plant zonation in a tropical estuary?** Hydrobiologia, v. 812, p. 67-77, 2018.

NUNES, L.S.C.; CAMARGO, A.F.M. **The interspecific competition of tropical estuarine macrophytes is not density-dependent.** Aquatic Botany, v. 164, p. 103233, 2020.

NUNES, L.S.C.; UMETSU, C.A.; CAMARGO, A.F.M. **Environmental heterogeneity influences life form richness and species composition but not species richness of aquatic macrophytes in tropical coastal rivers**. Freshwater Biology, v. 65, p. 1894-1905, 2020.

OZDOGAN, M. **A practical and automated approach to large area forest disturbance mapping with remote sensing**. PloS one, v. 9, n. 4, p. e78438, 2014.

PALMER, S.C.; KUTSER, T.; HUNTER, P.D. **Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions**. Remote Sensing of Environment, v. 157, p. 1-8, 2015.

PLUS, M.; AUBY, I.; MAURER, D.; TRUT, G.; DEL-AMO, Y.; DUMAS, F.; THOUVENIN, B. **Phytoplankton versus macrophyte contribution to primary production and biogeochemical cycles of a coastal mesotidal system. A modelling approach**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 165, p. 52-60, 2015.

RHEE, D.S.; DO KIM, Y.; KANG, B.; KIM, D. **Applications of unmanned aerial vehicles in fluvial remote sensing: An overview of recent achievements**. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 22, n. 2, p. 588-602, 2018.

ROSS, J.L.S.; FIERZ, M.D.S.M.; NEPOMUCENO, P.L.M.; DE MELO, M.A. **Macroformas do Relevo da América do Sul**. Revista do Departamento de Geografia, v. 38, p. 58-69, 2019

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. **UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas**. Remote Sensing, v. 6, n. 11, p. 11051-11081, 2014

SANZ-ABLANEDO, E.; CHANDLER, J.H.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; ORDÓÑEZ, C. **Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used**. Remote Sensing, v. 10, n. 10, p. 1606, 2018

SATO, S.E.; CUNHA, C.M.L. **Carta de unidades geoambientais do município de Itanhaém, São Paulo, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 13, n. 3, p. 329-342, 2013.

SOUZA-PEREIRA, P.E.; CAMARGO, A.F.M **Effects of salinity and organic wastes on zooplankton community, with emphasis on copepodes, in the Itanhaém river estuary, São Paulo state**. Acta Scientiarum: Biological Sciences, v. 26, n. 1, p. 9-17, 2004.

SUOMALAINEN, J.; ANDERS, N.; IQBAL, S.; ROERINK, G.; FRANKE, J.; WENTING, P.; HÜNNIGER, D.; BARTHOLOMEUS, H.; BECKER, R.; KOOISTRA, L. **A lightweight hyperspectral mapping system and photogrammetric processing chain for unmanned aerial vehicles**. Remote Sensing, v. 6, n. 11, p. 11013-11030, 2014.

STREHER, A.S; SOBREIRO, J.F.F.; MORELLATO, L.P.C.; SILVA, T.S.F. **Land surface phenology in the tropics: the role of climate and topography in a snow-free mountain**. Ecosystems, v. 20, n. 8, p. 1436-1453, 2017.

SVITOK, M.; HRIVNÁK, R.; KOCHJAROVÁ, J.; OŤAHEĽOVÁ, H.; PAĽOVE-BALANG, P. **Environmental thresholds and predictors of macrophyte species richness in aquatic habitats in central Europe**. Folia Geobotanica, v. 51, n. 3, p. 227-238, 2016.

THIN, L.N.; TING, L.Y.; HUSNA, N.A.; HUSIN, M.H. **GPS systems literature: inaccuracy factors and effective solutions**. International Journal Computer Networks Communications, v. 8, p. 123-131, 2016

THOMAZ, S.M.; DIBBLE, E.D.; EVANGELISTA, L.R.; HIGUTI, J.; BINI, L.M. **Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons**. Freshwater biology, v. 53, n. 2, p. 358-367, 2008.

TIAN, H.; HUANG, N.; NIU, Z.; QIN, Y.; PEI, J.; WANG, J. **Mapping winter crops in China with multi-source satellite imagery and phenology-based algorithm**. Remote sensing, v. 11, n. 7, p. 820, 2019.

TÓTH, V.R. **Monitoring spatial variability and temporal dynamics of Phragmites using unmanned aerial vehicles**. *Frontiers in plant science*, v. 9, p. 728, 2018.

UMETSU, C.A.; AGUIAR, F.C.; FERREIRA, M.T.; CANCIAN, L.F.; CAMARGO, A.F.M. **Addressing bioassessment of tropical rivers using macrophytes: The case of Itanhaem Basin, Sao Paulo, Brazil**. *Aquatic Botany*, v. 150, p. 53-63, 2018

VILLA, P.; PINARDI, M.; TÓTH, V.R.; HUNTER, P.D.; BOLPAGNI, R. **Remote sensing of macrophyte morphological traits: implications for the management of shallow lakes**. *Journal of limnology*, v. 76, n. s1, p. 109-126, 2017.

VITOUSEK, P.M.; D'ANTONIO, C.M.; LOOPE, L.L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKS, R. **Introduced species: a significant component of human-caused global change**. *New Zealand Journal of Ecology*, p. 1-16, 1997.

WESTOBY, M.J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N.F.; HAMBREY, M.J.; REYNOLDS, J.M. **Structure-from-Motion'photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications**. *Geomorphology*, v. 179, p. 300-314, 2012.

WULDER, M.A.; HALL, R.J.; COOPS, N.C.; FRANKLIN, S.E. **High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization**. *BioScience*, v. 54, n. 6, p. 511-521, 2004.

XIA, Q.; QIN, C.Z.; LI, H.; HUANG, C.; SU, F.Z. **Mapping mangrove forests based on multi-tidal high-resolution satellite imagery**. *Remote Sensing*, v. 10, n. 9, p. 1343, 2018.

ZEČEVIĆ, Z.; POPOVIĆ, T.; KRSTAJIĆ, B. **Based Solution for Automatic Image, Mosaicking and Georeferencing**. In: 22nd International Scientific-Professional Conference Information Technology. 2017. p. 177-180.

ZHANG, E.; MASOUD, N. **Increasing gps localization accuracy with reinforcement learning**. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, p. 1-12, 2020.

ZHAO, J.; ZHANG, X.; GAO, C.; QIU, X.; TIAN, Y.; ZHU, Y.; CAO, W. **Rapid mosaicking of unmanned aerial vehicle (UAV) images for crop growth monitoring using the SIFT algorithm**. Remote Sensing, v. 11, n. 10, p. 1226, 2019.

ZHU, L.; SUOMALAINEN, J.; LIU, J.; HYYPPÄ, J.; KAARTINEN, H.; HAGGREN, H. **A review: Remote sensing sensors**. Multi-purposeful application of geospatial data, p. 19-42, 2018.