

Artigo Técnico

Drones para diagnóstico e monitoramento de derramamentos de óleo

*Drones for diagnosing and
monitoring oil spills*

Caio Pompeu Cavallieri^{ab*}

^a SIRGA – Seção de
Investigações, Riscos e
Gerenciamento Ambiental

^b CIMA – Unidade de
Cidades, Infraestrutura
e Meio Ambiente

Palavras-chave: RPAS; derramamento
de óleo; emergência; impacto.

Keywords: RPAS; oil spill; emergency; impact.

* e-mail: caiopc@ipt.br

Resumo

Este artigo apresenta os levantamentos e resultados iniciais sobre o uso de drones de asa rotativa e pequeno porte realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) no âmbito de um estudo multidisciplinar coordenado pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), voltado ao diagnóstico e monitoramento ambiental de acidentes com derramamento de óleo em ambientes costeiros e oceânicos. Foram considerados dois grupos de interessados, sendo um deles de natureza exclusivamente governamental e o outro relacionado à própria população afetada. As pesquisas focadas em instituições governamentais identificaram que drones já são usados em operações emergenciais para, por exemplo, localizar a pluma de poluente e orientar o posicionamento de barreiras para contenção de vazamentos em tempo real. Quanto às iniciativas envolvendo a população afetada, o uso de drones está associado a práticas de ciência cidadã e/ou mapeamento participativo, sendo que o próprio engajamento dá origem à produção de conhecimento a partir de massivas coletas de dados (crowdsourcing), como imagens e/ou amostras de água. Além disso, o uso dessa ferramenta favorece a capacitação da população local, algo que tende a fortalecer a participação popular nos processos decisórios e reduzir a vulnerabilidade das comunidades afetadas.

Abstract

This article presents the initial surveys and results on the use of small rotary-wing drones conducted by the Institute for Technological Research of the State of São Paulo S.A. (IPT) within the scope of a multidisciplinary study coordinated by the Oceanographic Institute of the University of São Paulo (IO-USP) focused on environmental diagnosis and monitoring in oil spill accidents in coastal and oceanic environments. Two stakeholder groups were considered, one exclusively governmental and the other related to the affected population itself. Research focused on governmental institutions identified that drones are already used in emergency operations to, for example, to locate the pollutant plume and guide the positioning of containment barriers in real time. Regarding initiatives involving the affected population, drones can be associated with citizen science practices and/or participatory mapping, with engagement itself giving rise to the production of knowledge from massive data collection (crowdsourcing), such as images and/or water samples. Furthermore, the use of this tool promotes the empowerment of the local population, which tends to strengthen popular participation in decision-making processes and reduce the vulnerability of affected communities.

1 Introdução

A proposta deste artigo é apresentar os levantamentos feitos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) em parceria com o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), para avaliar de que forma drones podem ser usados em eventos de derramamento oceânico de óleo.

Essas pesquisas foram realizadas principalmente para integrar o projeto Rede-Oleomar (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2025), uma rede multidisciplinar de estudos costeiro-oceânicos voltada ao diagnóstico, monitoramento e gerenciamento da resiliência ambiental em acidentes com derramamento de óleo em ambientes costeiros e oceânicos, por meio do estabelecimento de diretrizes para o enfrentamento desses eventos, com foco numa área de estudo no sul da Bahia e considerando-se a população mais vulnerável. Trata-se de uma mobilização em resposta ao derramamento que em 2019 atingiu 11 estados brasileiros e cerca de 1.000 km de extensão da faixa litorânea do país (CARMO; TEIXEIRA, 2020), tendo culminado em 2023 na aprovação da proposta que visa atender o projeto Rede OLEOMAR associado à chamada CNPq/MCTI 06/2020 – Pesquisa e Desenvolvimento para Enfrentamento de Derramamento de Óleo na Costa Brasileira – Programa Ciência no Mar (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2020).

Dentro desse contexto, este artigo explora as potencialidades e limitações do uso de drones de asa rotativa e pequeno porte dentro do contexto de derramamento de óleo em áreas costeiras e oceânicas. Conforme ilustram os exemplos apresentados adiante, os avanços tecnológicos recentes culminaram na popularização de sensores e veículos autônomos, de modo que o uso de drones e câmeras embarcadas em ações de prevenção, resposta e recuperação já é realidade no setor petrolífero.

2 Procedimento metodológico

A elaboração deste artigo foi feita com base em buscas destinadas a identificar experiências em que drones já estivessem sendo usados em atividades relacionadas a derramamentos oceânicos de óleo. Essas buscas não ficaram restritas a artigos, tendo-se estendido a relatórios técnicos e páginas da internet. De qualquer forma, todo processo de busca, seleção e avaliação da qualidade desses materiais foi conduzido de forma cuidadosa e levando-se em conta sua utilidade para as partes interessadas (stakeholders) (REES; OLIVER, 2006).

Para este estudo foram considerados dois grandes grupos de interessados. O primeiro deles está exclusivamente relacionado a instituições governamentais e, neste caso, o uso de drone é apenas um dos desdobramentos da vigência de uma ou mais políticas públicas. O segundo grupo, por outro lado, destaca-se por sua natureza intersetorial, podendo envolver governo, comunidade e/ou terceiro setor. As ações e tomadas de decisão desse segundo grupo destacam-se por serem descentralizadas, característica que costuma lhe conferir maior abrangência e capilaridade.

Outro recorte feito para a elaboração deste artigo foi em relação ao tipo de drone, sendo que as considerações ficaram restritas apenas a aparelhos de asa rotativa e de pequeno porte – entre 250g e 25kg (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2021). Equipamentos como drones de asa fixa também são usados no contexto de derramamentos de óleo e, quando comparados a drones de asa rotativa, esses aparelhos têm as vantagens de: (i) cobrir áreas mais extensas e em intervalos de tempo menores; (ii) contar com autonomia de voo significativamente maior; e (iii) transportar mais carga útil como sensores maiores e mais sofisticados. No entanto, assumiu-se que aparelhos maiores e de asa fixa dificilmente teriam aderência com o grupo de natureza intersetorial em função da sua complexidade operacional e do considerável investimento financeiro necessário para se dar início às suas atividades de monitoramento.

De fato, drones de asa rotativa são mais simples de operar, reduzindo-se assim a necessidade de operadores especializados (BOON; DRIJFHOUT; TEFAMICHAEL, 2017). Além disso, esses aparelhos caracterizam-se por sua decolagem e pouso verticais (ZHAO; LI, 2022), o que possibilita que sejam usados até mesmo a partir de navios e/ou embarcações menores. Há que se destacar também a sua capacidade de realizar voos estacionários e com maior agilidade nas manobras, características que favorecem a realização de inspeções que exijam algum tipo de detalhamento.

3 Resultados e discussão

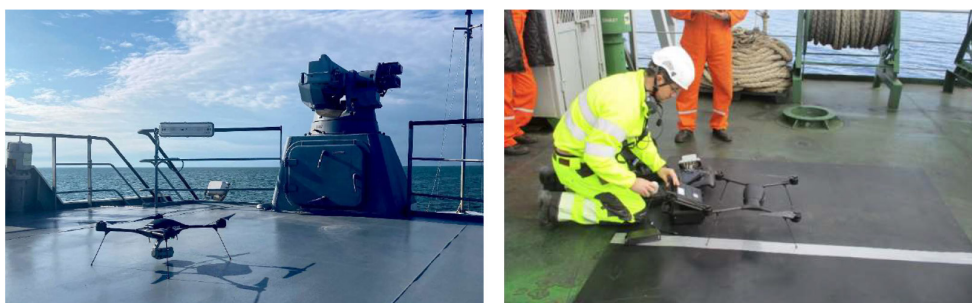
Em derramamentos de óleo no mar, um dos desafios que se apresentam diz respeito à qualidade das ações deflagradas nas diferentes fases de tais eventos. No geral, essas fases costumam ser divididas entre: (i) ações de prevenção na fase pré-emergencial; (ii) ações de reposta na fase emergencial; e (iii) avaliação dos impactos e ações de recuperação na fase pós-emergencial.

Drones de asa rotativa e de pequeno porte podem ser usados em todas essas três fases e por qualquer o grupo interessado (isto é, ligado ou não a instituições públicas). São apresentados a seguir os principais resultados dos levantamentos realizados, sendo que o que foi encontrado foi dividido em função de estar ou não associado a instituições públicas.

3.1 Ações governamentais

Um exemplo relacionado a instituições governamentais é o da Agência Europeia de Segurança Marítima (EMSA – European Maritime Safety Agency) em que drones foram incorporados ao seu sistema de vigilância marítima por satélite, o CleanSeaNet (EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY, 2021). Para essa agência, enquanto os satélites têm a vantagem de cobrir áreas extensas, os drones destacam-se por permitir a confirmação e a análise de derramamentos de óleo em qualquer horário do dia. Além disso, esses aparelhos podem ser operados a partir de navios usados especificamente em operações emergenciais para sobrevoar o local do vazamento durante todo o desenvolvimento das ações de resposta (Figuras 1 e 2) (EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY, 2022; 2023).

Figuras 1 e 2 – Exemplos de drones operados a partir de navios para monitorar vazamentos de óleo.



Fonte: European Maritime Safety Agency (2024).

Em situações assim, drones são encarados como plataformas aéreas equipadas com sensores usadas na identificação de diferentes parâmetros relacionados ao derramamento de óleo. Além do posicionamento de plumas superficiais, essas plataformas também oferecem dados importantes sobre trajetória do vazamento, dimensões da mancha, velocidade estimada de deslocamento, distância em relação à costa (FIGURA 3), locais potenciais para a deposição da pluma e até mesmo proximidade em relação a áreas de especial interesse (ex: cardume de peixes e recife de corais).

Figura 3 – Exemplo de derramamento superficial de óleo em área costeira identificado por drone.



Fonte: European Maritime Safety Agency (2024).

Há ainda casos em que os resultados de registros feitos por drones são combinados com análises feitas por redes neurais treinadas, algo que diminui a necessidade de operações manuais e reduz o tempo entre detecção e resposta (MOURSİ; WEHN; HAMMOUD, 2025; RODRIGUES JUNIOR *et al.*, 2022). Trata-se de uma aplicação que não fica restrita a imagens convencionais (RGB), estendendo-se a registros termográficos (DE KERF *et al.*, 2020) e hiperespectrais (JIANG *et al.*, 2022).

Outro exemplo relacionado a instituições governamentais é o do projeto IRA-MAR que foi co-fundado pela Direção Geral de Proteção Civil e Operações de Ajuda Humanitária Europeia (DG-ECHO – Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations) com o propósito de melhorar a capacidade de resposta a eventos de poluição marinha por parte dos seguintes países compreendidos entre o Mediterrâneo Ocidental e o Atlântico: Portugal, Espanha, França, Itália, Malta, Tunísia e Marrocos (ALCARO *et al.*, 2023). O IRA-MAR chama a atenção para o fato de que o uso de drones em emergências de vazamento no mar deve ser uma ação planejada e, portanto, esse planejamento não deve ser deflagrado apenas a partir do início de um atendimento emergencial (FIGURA 4). Isso se deve, por exemplo, ao fato de que o uso apropriado desse tipo de ferramenta passa pelo alinhamento com diferentes instituições – no caso do Brasil, envolve ao menos a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica (Decea) – e ainda pressupõe a disponibilidade de operadores treinados e drones prontos para uso.

Figura 4 – Exemplo de drone sobrevoando vazamento de óleo dentro da área de influência da plataforma de petróleo (ao fundo).



Fonte: Alcaro et al. (2023, p. 1).

Outro aspecto interessante da abordagem adotada pelo IRA-MAR diz respeito à parte operacional sobre o uso de drones em vazamentos de óleo em estuários. Em casos assim, preconiza-se que o drone seja operado a partir das próprias embarcações responsáveis pelo manejo de barreiras flutuantes para conter manchas de óleo. A partir dos registros que os drones transmitem para as embarcações em tempo real, é possível delimitar a geolocalização de vazamentos, de modo que as barreiras possam ser adequadamente dispostas para impedir que o óleo se espalhe e cause impactos ambientais negativos (Figuras 5 e 6).

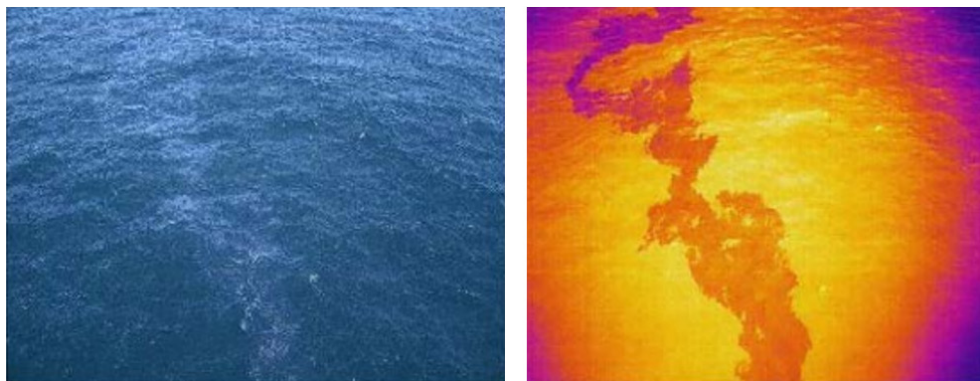
Figuras 5 e 6 – Exemplo de imagens de drone transmitidas em tempo real para orientar o deslocamento da embarcação (à esquerda) e posicionar a barreira flutuante para contenção do vazamento de óleo (à direita).



Fonte: Alcaro et al. (2023, p. 97-98).

Além disso, há ainda a experiência do IRA-MAR com o uso de câmeras termográficas embarcadas em drones. Sensores infravermelhos desse tipo são usados para dar suporte à identificação de vazamentos químicos que ficam sobre a superfície da água (Figuras 7 e 8).

Figuras 7 e 8 – Exemplo de imagens aéreas convencional (à esquerda) e termográfica (à direita) feitas a 80m de altura usadas para visualizar pluma de tolueno. Notar que a mancha aparece com maior ênfase no registro termográfico.



Fonte: Alcaro *et al.* (2023, p. 101).

3.2 Ações intersetoriais

Tanto a EMSA quanto o IRA-MAR são exemplos em que o uso de drones está diretamente relacionado a instituições governamentais. Trata-se de desdobramentos de políticas públicas que foram elaboradas considerando-se a vulnerabilidade de ambientes costeiros.

Hã, entretanto, ações de natureza intersetorial em que o uso de drones de pequeno porte também tem potencial para promover impactos positivos dentro do contexto de derramamento de óleo. Justamente por envolver governo, comunidade e/ou terceiro setor, essas ações tendem a ser mais abrangentes e ter maior capilaridade, constituindo o que pode ser entendido como uma forma integrada de gerenciamento costeiro (OLIVEIRA; SOUTO, 2012).

Em geral, esses gerenciamentos costumam estar fundamentados na descentralização de ações e tomadas de decisão. Isso coloca os municípios e comunidades locais como protagonistas do processo de proteger ecossistemas, desenvolver recursos costeiros e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

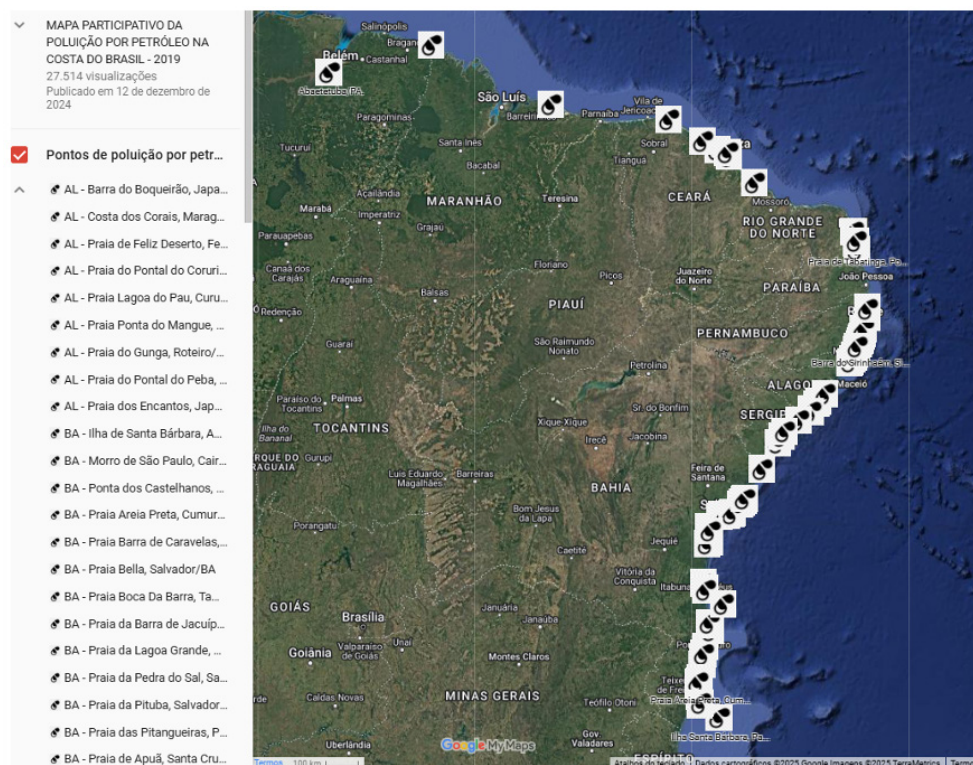
Para tanto, essa forma de organização depende da interpretação de diversos indicadores, cuja qualidade depende da disponibilidade de dados consistentes, amostragens com pe-

riodicidade adequada e coberturas com abrangência suficiente. Além disso, há estudos recentes específicos sobre a costa brasileira que apontam que dados de boa qualidade podem ser obtidos por mapeamentos participativos (SOUTO, 2021).

3.2.1 Mapeamento participativo

De maneira geral, o mapeamento participativo destaca-se pelo seu caráter inclusivo que empodera as comunidades por meio da participação da própria população local na coleta de dados e construção dos mapas (MCCALL, 2003). Nesse tipo de atividade, os participantes costumam disponibilizar imagens com visadas convencionais e a geolocalização de onde os registros foram feitos. Além disso, esses materiais podem ser integrados a mapas online como, por exemplo, o “Mapa Participativo da Poluição por Petróleo na Costa do Brasil” organizado pelo Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável – IVIDES (FIGURA 9), permitindo que quaisquer interessados analisem esses dados após a sua inserção na plataforma (SOUTO, 2021).

Figura 9 – Mapa participativo online com a representação dos locais em que voluntários, ONGs, jornalistas, pesquisadores e moradores fizeram registros convencionais de resíduos de petróleo associados ao derrame ocorrido em 2019-2020 na costa brasileira.



Fonte: Souto (2019).

Iniciativas desse tipo não se restringem apenas à catalogação de impactos ambientais negativos. Plataformas como eBird (SULLIVAN *et al.*, 2014) e iNaturalist (2025) (FIGURA 10), valem-se dos mesmos princípios e ferramentas para disponibilizar bancos de dados (SULLIVAN *et al.*, 2009) sobre biodiversidade a partir de coletas feitas por qualquer pessoa interessada. Trata-se de uma quantidade de dados que cresce constantemente e é muito superior àquela coletada por cientistas, algo que por si só já tem um potencial enorme de integração com diferentes tipos de base (BOVO, 2021). Além disso, dispor de dados assim é especialmente relevante em meio à insuficiência de recursos financeiros e humanos que costuma caracterizar programas de monitoramento ambiental em áreas particularmente extensas (NUNES, 2021).

Figura 10 – Mapa do iNaturalist com marcadores que representam a localização em que diferentes grupos taxonômicos já foram encontrados. Notar também a referência aos últimos registros incluídos no local de interesse selecionado (quadro à direita).

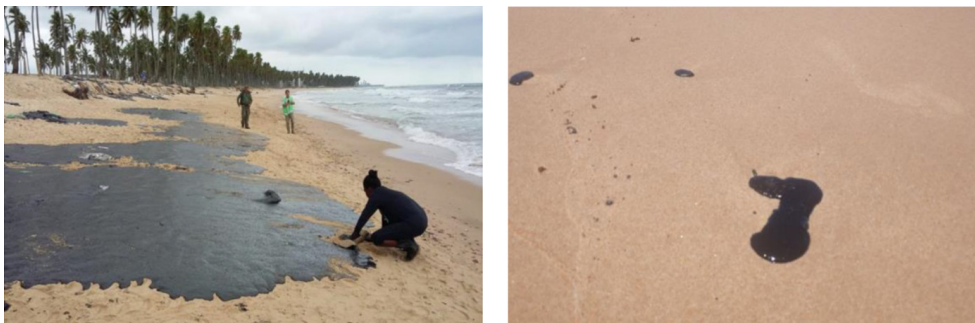


Fonte: INaturalist (2025).

Há que se destacar, entretanto, a qualidade variável dos dados disponibilizados por cada pessoa que alimenta essas plataformas. Um dos motivos associados a essa variação diz respeito à falta das coordenadas geográficas do local em que os registros foram feitos, o que pode ser atribuído à falta de informações espaciais nos metadados das imagens geradas (ROBINSON; RUIZ-GUTIERREZ; FINK, 2017). Ainda assim, trata-se de uma limitação que tende a ser minimizada com a popularização de smartphones capazes de gerar imagens georreferenciadas mesmo sem qualquer conhecimento prévio por parte do usuário (LIEBENBERG *et al.*, 2016).

Outra limitação comum em tais levantamentos diz respeito ao ângulo de visada em que os registros são feitos. No caso do material reunido pelo IVIDES entre 2019 e 2020 para análise do derrame de petróleo na costa brasileira, as imagens geradas foram feitas com a câmera posicionada na altura dos olhos do observador ou no mesmo nível do objeto de interesse (Figuras 11 e 12).

Figuras 11 e 12 – Exemplos de imagens geradas com a câmera convencional.



Fonte: Souto (2023, p. 217).

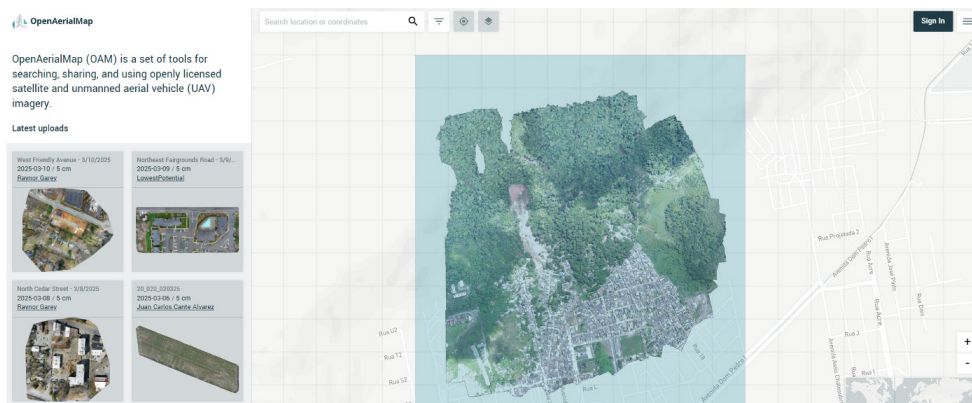
Dentro desse contexto, drones de asa rotativa e pequeno porte apresentam-se como ferramentas com potencial para contribuir de forma substancial para a coleta de dados. Suas imagens são geradas a partir de diferentes ângulos e alturas, podendo ser divididas em dois tipos: (i) oblíquas, ou seja, com a câmera inclinada em relação ao plano horizontal, oferecendo uma maior perspectiva do derrame de petróleo em relação ao restante da paisagem; e (ii) ortogonais, isto é, com capturas feitas com a câmera apontada diretamente pra baixo, dando origem a uma visão plana do objeto de interesse e do seu entorno.

Diferente dos registros convencionais (aqueles feitos diretamente do solo com a câmera posicionada na altura dos olhos), as imagens oblíquas e ortogonais costumam ser mais favoráveis às atividades de fotointerpretação. De fato, ao invés de serem registros muito próximos do alvo, essas duas modalidades de captura têm a vantagem de apresentar objetos de interesse dentro de contextos mais amplos como, por exemplo, resíduos de petróleo associados à sua fonte do vazamento ou à respectiva área impactada.

Além disso, os registros feitos por drones costumam ter em seus metadados as coordenadas referentes à posição do drone no momento em que a captura da imagem é feita. Isso por si só já é um diferencial quando se pretende usar esse tipo de imagem para alimentar bases de mapas participativos como o do IVIDES e do Google MyMaps (SOUTO; BATALHÃO, 2022).

No caso das imagens ortogonais, ainda há a possibilidade de se processar esse tipo de material para dar origem a ortomosaicos, de modo que os produtos de drone possam ter um uso cartográfico para mensuração de distâncias, perímetros e áreas. Ortomosaicos assim podem ser compartilhados em plataformas específicas de hospedagem gratuita como, por exemplo, o OpenAerialMap (FIGURA 13) (MANDOURAH; HOCHMAIR, 2025).

Figura 13 – Exemplos de ortomosaicos (à esquerda e ao centro) disponíveis gratuitamente para consulta e download na plataforma do OpenAerialMap.



Fonte: OpenAerialMap (2025).

3.2.2 Registros comunitários

A coleta participativa de dados por drone tem potencial para desempenhar um importante papel em monitoramentos de derramamentos de óleo. Essa atividade pode estar associada a práticas de ciência cidadã e/ou mapeamento participativo em que o próprio engajamento da população dá origem à produção de conhecimento a partir de massivas coletas de dados (crowdsourcing).

A ideia é que todo esse processo passe pela participação ativa dos cidadãos em atividades científicas, algo que tende a favorecer a qualificação da população a partir do uso de diferentes tipos de ferramenta (Figuras 14 e 15) e de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Além disso, indivíduos dentro desse contexto tendem a difundir práticas de interação colaborativas e experimentar novas dinâmicas de participação em movimentos sociais, favorecendo a busca por melhores condições de vida (GIARETTA; DI GIULIO, 2018).

Figuras 14 e 15– Exemplos de uso de equipamento para coleta de dados feita pela própria população.



Fonte: Liebenberg *et al.* (2016, p. 3) e British Geological Survey (2025).

Além do seu caráter inclusivo relacionado à participação da população local, dados coletados por drones tendem a amplificar o compartilhamento de informações, ampliando as possibilidades de influência da população sobre processos decisórios. Trata-se também de um registro das percepções locais que, ao reunir diferentes fontes de saber, tende a apoiar as comunidades afetadas no manejo de riscos e redução de vulnerabilidade (CANEVARI *et al.*, 2015).

3.2.3 Qualificação da população local e acurácia dos dados

A credibilidade dos dados coletados pode ser questionada em função da inexperiência que a população local costuma apresentar em relação aos registros com drones. Seja como for, além da necessidade de validação das imagens coletadas, é essencial capacitar aqueles que irão se dedicar a fazer imagens aéreas, daí a importância de se realizar treinamentos com a população local.

Esses treinamentos já são realidade em outros contextos de comunidades impactadas. É, por exemplo, o caso de indígenas que aprendem a usar drones para proteger de invasões de garimpo o maior território indígena do Brasil, a Terra Yanomami localizada em Roraima (JOVENS..., 2023). Nesse caso, aulas teóricas e práticas são realizadas em formato de oficina para habilitar jovens Yanomami e Ye'kwana a fazerem o monitoramento das próprias terras (FIGURA 16) para poderem fazer denúncias ao poder público sempre que forem identificadas atividades de garimpo irregular. Outro aspecto destacado pela Associação Yanomami (HAY) e a Associação Wanasseduume Ye'kwana (SEDUUME), em parceria com o conselho indígena de Roraima (CIR), é que os jovens operadores tornaram-se multiplicadores do que aprenderam (HUTUKARA ASSOCIAÇÃO YANOMAMI, 2024).

Figura 16 – Jovens indígenas aprendendo a pilotar drone para empreender ações de monitoramento.



Fonte: Hutukara Associação Yanomami (2024).

De qualquer forma, é importante ter clareza do contexto em que ocorrerão eventuais desvios de acurácia posicional de registros feitos com drones. De maneira geral, a proposta é que tais trabalhos com drones não envolvam pontos de apoio, isto é, pontos com coordenadas conhecidas utilizados no processamento de imagens aéreas para calibrar e atestar a qualidade posicional dos produtos gerados. Abrir mão desse tipo de recurso deve-se a dois motivos distintos.

O primeiro motivo está associado à dinâmica dos próprios campos. No geral, esses trabalhos contam com intervalos de tempo consideravelmente curtos, de modo que a coleta de pontos de apoio torna-se uma atividade inviável. Já o segundo motivo diz respeito à irrelevância que esses desvios representam para o resultado final do mapeamento participativo. Nessas atividades, como o foco é compartilhar dados sobre observações de alterações ambientais e/ou espécies, a magnitude dos erros de geolocalização costuma ser pequena a ponto de não prejudicar a visualização espacial dos objetos de interesse. Além disso, há trabalhos que tratam especificamente do uso criterioso de dados gerados por drone sem a utilização de pontos de apoio (FORLANI *et al.*, 2018; GUTIÉRREZ *et al.*, 2024; SPOCHAKI *et al.*, 2018).

3.3 Amostragem de água e contaminantes com drones

Outra atividade que pode contar com o auxílio de drones de pequeno porte é a coleta de amostras de águas superficiais e eventuais contaminantes. Podendo ser conduzido por instituições governamentais e/ou população local, esse procedimento pode melhorar de forma significativa os procedimentos de amostragem por não depender de embarcações, pontes e outros aparatos fixos (**Figuras 17 e 18**).

Figuras 17 e 18 – Exemplos de procedimentos utilizados em coletas tradicionais. Notar a dependência de aparatos fixos e pontes.



Fonte: Botelho (2000) e Porto (2012).

De fato, soluções convencionais costumam demandar recursos significativos para garantir o monitoramento da qualidade da água em um único ponto, o que muitas vezes torna financeiramente inviáveis projetos que precisam monitorar mais de uma área ao mesmo tempo. Por outro lado, há situações em que o orçamento não é um fator limitante, mas a dificuldade logística para viabilizar a adoção de alguns procedimentos de coleta é tamanha que incorporá-los às atividades de monitoramento torna-se pouco prático (Figuras 19 e 20).

Figuras 19 e 20 – Fatores que podem dificultar e até mesmo viabilizar os serviços de amostragem: profundidade do corpo d'água (à esquerda) e inadequação de equipamentos (à direita).

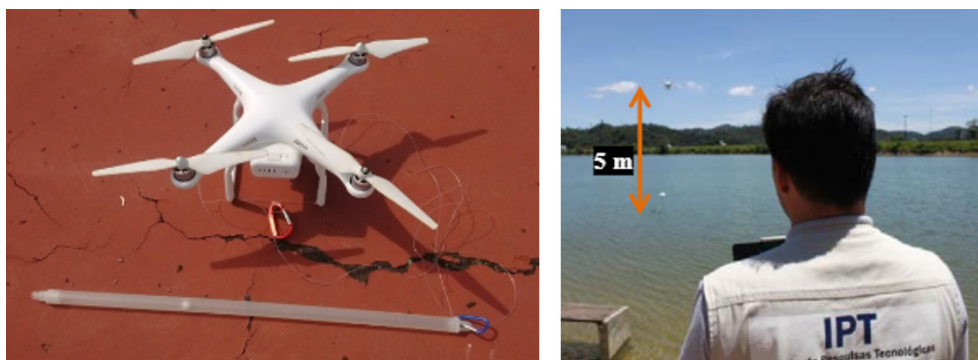


Fontes: Brandão et al. (2011) e acervo do autor.

Uma das formas de se proceder as amostragens com drones é a desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e que conta com aplicações similares (TERADA et al., 2018). Idealizado para ser descartável e independente de dispositivos eletrônicos, o sistema de coleta criado pelo IPT conta com um bailer descartável de 60 cm de altura, 1 cm de diâmetro e capacidade para cerca de 150 mL conectado a

um drone por uma linha de nylon de 5 m e dois mosquetões de encaixe rápido (Figuras 21 e 22). Além disso, em configurações que contam com drones que transmitem imagens em tempo real é possível que as amostras de água sejam coletadas sem nenhum contato visual direto entre o operador e o drone. Para o caso específico de derramamentos de óleo, amostragens feitas por drones oferecem vantagens especialmente considerando-se que o acesso às áreas impactadas é geralmente desafiador. Além da agilidade e da segurança que esse tipo de técnica confere às amostragens, o uso de drones permite que as coletas sejam feitas a partir de pontos representativos, o que nem sempre é possível quando as amostras são obtidas a partir de técnicas convencionais.

Figuras 21 e 22 – Sistema do IPT formado por bailer conectado a drone por linha de nylon e mosquetões (à esquerda) para coleta em corpo d’água (à direita).



Fonte: Cavalhieri (2019, p. 7).

5 Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de levantamento feito pelo IPT, reunindo considerações sobre potencialidades e limitações relacionadas ao uso de drones de asa rotativa e de pequeno porte dentro do contexto de diagnóstico e derramamentos de óleo em ambientes costeiros e oceânicos. Considerando-se o desafio que é conviver com possíveis impactos negativos de tais eventos, drones podem ser entendidos como importantes aliados para a idealização de ações estratégicas de curto, médio e longo prazo.

Nesse sentido, o uso dessa ferramenta em acidentes com derramamento de óleo pode estar associado a benefícios como:

- (i). gerar dados a partir de imagens (oblíquas e ortogonais) e coleta de amostras representativas de água que, em contraponto a procedimentos tradicionais, favoreçam a detecção de eventuais derramamentos e contribuam para a elaboração de respostas rápidas;

- (ii). promover a cooperação entre operações do governo e iniciativas da população local impactada por derramamentos;
- (iii). capacitar a população local no uso de drones, imagens aéreas georreferenciadas e ferramentas de mapeamento participativo em procedimentos de diagnóstico e monitoramento; e
- (iv). fortalecer a participação da população no reconhecimento dos seus territórios e nos processos decisórios.

Em comparação com modelos de asa fixa, os drones de asa rotativa e de pequeno porte usados em derramamentos de óleo apresentam desvantagens como cobrir áreas reduzidas, contar com autonomia de voo inferior e dispor de menor capacidade de carga para transporte de sensores. Ainda assim, drones desse tipo são ferramentas que, por meio de câmeras convencionais (RGB) e termográficas, caracterizam-se por sua versatilidade, qualidade dos dados adquiridos e facilidade de uso, favorecendo a coleta de dados importantes sobre plumas superficiais, tais como posicionamento, trajetória do vazamento, dimensões da mancha e velocidade de deslocamento.

Esses aparelhos também se destacam por sua decolagem e pouso verticais (o que possibilita o seu uso em embarcações menores) e por serem capazes de realizar voos estacionários e manobras ágeis (que favorecem a realização de inspeções detalhadas e feitas a partir de navios usados especificamente para monitorar vazamentos). Além disso, há ainda a simplicidade do aprendizado exigido e a baixa complexidade que sua operação rotineira demanda, características particularmente interessantes quando se trata de práticas de mapeamento participativo e/ou ciência cidadã que necessariamente envolvem as populações afetadas.

De fato, drones operados pela população impactada têm potencial para amplificar a geração e o compartilhamento de dados sobre derramamentos, ampliando suas possibilidades de influência sobre os próprios processos decisórios. Trata-se, portanto, de um registro feito a partir das percepções locais que tende a favorecer o manejo de riscos relacionados a vazamentos de óleo e a redução de vulnerabilidades das comunidades afetadas.

6 Agradecimentos

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) pela oportunidade. Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) pela parceria. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio. À professora Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva (IO-USP) e à engenheira ambiental MSc. Marcela Maciel de Araújo (IPT) pelo convite. À oceanógrafa MSc. Larissa Felicidade Werkhauser Demarco (IPT) e à pesquisadora Edna Baptista dos Santos Gubitoso (IPT) pelas contribuições nas etapas de revisão e referências.

7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Drones Classe 3 (RPA com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg)**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/aeronaves-nao-tripuladas-da-classe-3-com-peso-maximo-de-deco-lagem-maior-que-250g-e-ate-25-kg>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ALCARO, L. *et al.* **D5.1 IRA-MAR Preliminary bibliographic research on the Best Available Technologies for the use of drones in maritime emergency response surveys**. [S.l.]: IRA-MAR, 2023. 123 p. Disponível em: https://wwz.cedre.fr/en/content/download/11017/file/20230331_D5.1Best%20Available%20Technologies%20_Guide.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

BOON, M. A.; DRIJFHOUT, A. P.; TEFAMICHAEL, S. Comparison of a fixed-wing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: a case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEOMATICS, 4., 2017, Bonn, Germany. **Proceedings...** Bonn: Universtiy of Bonn, 2017. p. 47-58.

BOTELHO, M. H. C. **Uma vida tratando águas**: memórias do engenheiro Armando Fonzari Pera. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2000.

BOVO, A. A. A. **Ciência cidadã e modelos de distribuição de espécies para a conservação de aves ameaçadas**. 2021. 105 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

BRANDÃO, C. J. *et al.* (Coord.). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Enhancing multi-hazard resilience through integrating citizen science in the Caribbean**. 2025. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/global-geological-risk/improving-multi-hazard-resilience/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

CANEVARI, L. *et al.* Using partial participatory GIS in vulnerability and disaster risk reduction in Grenada. **Climate and Development**, v. 9, n. 2, p. 1-15, Sept. 2015.

CARMO, E. H.; TEIXEIRA, M. G. Desastres tecnológicos e emergências de saúde pública: o caso do derramamento de óleo no litoral do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 20, art. 00234419, 2020.

CAVALHIERI, C. P. Amostragem de água com drones. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: ABRHIDRO, 2019.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Chamada CNPq/MCTI 06/2020 – Pesquisa e Desenvolvimento para Enfrentamento de Derramamento de Óleo na Costa Brasileira – Programa Ciência no Mar**. Brasília: CNPq/MCTI, 2020. 20 p. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/oceano-e-antartica/chamadapublica06_2020.pdf. Acesso em: 20 jul. 2025.

DE KERF, T. *et al.* Oil Spill Detection Using Machine Learning and Infrared Images. **Remote Sensing**, v. 12, art. 4090, 2020.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. CleanSeaNet - European satellite based oil spill monitoring and vessel detection service. 2021. Disponível em: <https://www.emsa.europa.eu/csn-menu/items.html?cid=122&id=4322>. Acesso em: 12 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **EMSA RPAS Services for Maritime Surveillance 2017-2023**. 2024. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/5276-emsa-rpas-services-for-maritime-surveillance-2017-2023.html>. Acesso em: 19 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **RPAS Service Portfolio: Marine Pollution Monitoring & Detection**. 2022. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/3115-rpas-service-portfolio.html>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **RPAS Service: Lightweight RPAS Services Supporting Pollution Response**. 2023. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/4974-rpas-service-lightweight-rpas-services-supporting-pollution-response.html>. Acesso em: 8 jul. 2025. <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/4974-rpas-service-lightweight-rpas-services-supporting-pollution-response.html>. Acesso em: 11 jul. 2025.

FORLANI, G. *et al.* Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 1-22, Feb. 2018.

GIARETTA, J. B. Z.; DI GIULIO, G. O papel das tecnologias de comunicação e informação (TIC) no urbano do século XXI e na emergência dos novos movimentos sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 20, n. 1, p. 161- 179, jan./abr. 2018.

GUTIÉRREZ, A. G. *et al.* Is it possible to generate accurate 3D point clouds with UAS-LIDAR and UAS-RGB photogrammetry without GCPs? A case study on a beach and rocky Cliff. **Landscape Ecology**, v. 39, n. 191, p. 1-24, Nov. 2024.

HUTUKARA ASSOCIAÇÃO YANOMAMI. Associação Wanasseduume Ye'kwana. Jovens Ye'kwana e Yanomami, aprendem técnicas avançadas para operar drones. **Instagram**, 21 set. 2024. Disponível em: https://www.instagram.com/hutukara_yanomami/p/DAL2014vDjH/?img_index=1. Acesso em: 01 ago. 2025

INATURALIST. **Observações**. Disponível em: <https://www.inaturalist.org/observations>. Acesso em: 21 jul. 2025.

JIANG, Z. *et al.* Hyperspectral **Remote Sensing** Detection of Marine Oil Spills Using an Adaptive Long-Term Moment Estimation Optimizer. **Remote Sensing**, v. 14, p. 1-27, 2022.

JOVENS indígenas aprendem a usar drones para monitorar e proteger a Terra Indígena Yanomami. **Portal G1**, 8 nov. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2023/11/08/jovens-indigenas-aprendem-a-usar-drones-para-monitorar-e-protoger-a-terra-indigena-yanomami.ghtml>. Acesso em: 24 set. 2025.

LIEBENBERG, L. *et al.* Smartphone Icon User Interface design for non-literate trackers and its implications for an inclusive citizen Science. **Biological Conservation**, v. 208, n. 1756, p. 1-8, May 2016.

MANDOURAH, A.; HOCHMAIR, H. H. Analysing the use of OpenAerialMap images for OpenStreetMap edits. **Geo-Spatial Information Science**, v. 28, n. 3, p. 1179–1194, 2025.

MCCALL, M. K. Seeking Good Governance in Participatory-GIS: A Review of Processes and Governance Dimensions in Applying GIS to Participatory Spatial Planning. **Habitat International**, v. 27, n. 4, p. 549-573, Dec. 2003.

MOURSI, M.; WEHN, N.; HAMMOUD, B. **Smart Environmental Monitoring of Marine Pollution using Edge AI**. Cornell: Cornell University, 2025. 5 p. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2504.21759>. Acesso em: 6 jul. 2025.

NUNES, G. A. **Monitoramento ambiental por meio da ciência cidadã em cavernas de Unidades de Conservação do Estado de São Paulo**. 2021. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

OLIVEIRA, L. A. K.; SOUTO, R. D. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil. Análise da adequação dos planos nacionais de gerenciamento costeiro e de iniciativas selecionadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Camboriú: Associação Brasileira de Oceanografia, 2012. p. 1-12.

OPENAERIALMAP. **OpenAerialMap (OAM) is a set of tools for searching, sharing, and using openly licensed satellite and unmanned aerial vehicle (UAV) imagery**. Disponível em: https://map.openaerialmap.org/#/-46.221832036972046,-23.96693076580334,16?_k=shuh6x. Acesso em: 15 jul. 2025

PORTO, R. L. (Coord.). **Fundamentos para gestão da água**. São Paulo: [s.n.], 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/33351068/Fundamentos_para_a_Gest%C3%A3o_da_%C3%81gua. Acesso em: 14 abr. 2025.

REES, R.; OLIVER, S. Stakeholder perspectives and participation in systematic reviews. In: GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J **An Introduction to Systematic Reviews**. London: Sage Publications, 2006. p. 19-42. ISBN: 9781473929432.

ROBINSON, O. J.; RUIZ-GUTIERREZ, V.; FINK, D. Correcting for bias in distribution modelling for rare species using citizen science data. **Diversity and Distributions**, v. 24, n. 4, p. 1 – 13, Dec. 2017.

RODRIGUES JUNIOR, V. N. *et al.* Oil Spill Detection and Visualization from UAV Images using Convolutional Neural Networks. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON COMPUTER VISION, IMAGING AND COMPUTER GRAPHICS THEORY AND APPLICATIONS, 17., 2022, Virtual Event. **Proceedings...** Setúbal, Portugal: Science and Technology Publications, 2022. v. 5, p. 331-338.

SOUTO, R. D. **Estudo de caso: governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019-2020**. In: Horizonte oceânico brasileiro: síntese para tomadores de decisão. [S.l.]: PainelMar, 2021. v. 1, p. 201-233.

SOUTO, R. D. **Estudo de caso:** governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019-2020. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável, Laboratório de Cartografia da UFRJ, 2023. p. 201-233.

SOUTO, R. D.; BATALHÃO, A. C. S. Citizen science as a tool for collaborative sitespecific oil spill mapping: the case of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, suppl. 2, p. 1-19, 2022.

SOUTO, R. D. **Mapa Colaborativo da Poluição por Petróleo na Zona Costeira do Brasil – Desastre 2019-2020**. Rio de Janeiro: IVIDES, 2019. Disponível em: <https://ivides.org/mapa-participativo-petroleo-2019-2020>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SPOCHAKI, C. H. *et al.* Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **Raíe Ga, O Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, p. 200-214, fev. 2018.

SULLIVAN, B. *et al.* eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. **Biological Conservation**, v. 142, n. 10, p. 2282-2292, Oct. 2009.

SULLIVAN, B. *et al.* The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. **Biological Conservation**, v. 169, p. 31-40, Jan. 2014.

TERADA, A. *et al.* Water sampling using a drone at Yugama crater lake, Kusatsu Shirane volcano, Japan. **Earth, Planets and Space**, v. 70, n. 64, p. 1-9, 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Rede Oleomar (CNPq/MCTI)**. Disponível em: <https://sites.usp.br/labnut/redeoleomar/>. Acesso em: 20 jul. 2025

ZHAO, T.; LI, W. Design Configuration and Technical Application of Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicles. **Mechatronics and Intelligent Transportation Systems**, v. 1, n. 1, p. 69-85, 2022.

XXXXXXXXXX

