

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AMOSTRAGEM DE ÁGUA COM DRONES

Caio Pompeu Cavallieri¹

RESUMO – Este trabalho apresenta propostas para lidar com limitações comuns em amostragens de águas superficiais. Foram desenvolvidos dois protótipos que, além de terem em comum o uso de drones multirrotores de pequeno porte, também foram idealizados com a premissa de serem simples de se construir, operar e manter. De maneira geral, os resultados dos testes realizados foram satisfatórios e mostraram que especialmente o protótipo 2 (solução baseada no uso de *bailers* e na transmissão de imagens em tempo real) tem potencial para melhorar de forma significativa os procedimentos de amostragem de água em campo. De fato, além da simplicidade operacional / manutenção, o protótipo 2 foi capaz de coletar 150 mL de água – suficiente para até 15 análises de turbidez – com o drone a uma distância vertical de 5 m do espelho d’água.

ABSTRACT – This paper presents proposals to deal with common limitations in surface water sampling. Two prototypes were developed in a way that, in addition to having in common the use of small multi-rotor drones, both were idealized with the premise of being simple to build, operate and maintain. The results of the tests were satisfactory and showed that especially prototype 2 (based on the use of bailers and in the transmission of images in real time) has the potential to significantly improve the procedures for surface water sampling in the field. In addition to the operational / maintenance simplicity, prototype 2 was able to collect 150 mL of water – sufficient for up to 15 turbidity analyses – with the drone at a vertical distance of 5 m from the water surface.

Palavras chave: drone, arduino, *bailer*.

1. INTRODUÇÃO

Por mais sofisticados que sejam os atuais procedimentos e equipamentos de amostragem, nenhuma das soluções até o momento mostrou-se satisfatória quando existem restrições orçamentárias ou dificuldades de ordem prática durante as atividades de campo (GETTEL, 2011). Soluções como boias para monitoramento de reservatórios demandam recursos significativos para garantir o acompanhamento de um único ponto, o que com frequência as tornam financeiramente proibitivas quando é necessário monitorar diversas áreas de forma simultânea (ANTTILA, 2012). Por outro lado, há situações em que o orçamento não é um fator limitante, mas a dificuldade logística associada ao uso de certos equipamentos pode comprometer o monitoramento.

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária – Butantã, CEP 05508-901, São Paulo (SP), 11 3767 4937, caiopc@ipt.br

Além das limitações inerentes aos próprios equipamentos, há também dificuldades de ordem prática para o atendimento de procedimentos de coleta preconizados por autores consagrados. Para o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (CLESCERI, 1998), por exemplo, as coletas manuais devem ser feitas a partir de “vários pontos equidistantes entre si ao longo da seção transversal do corpo d’água” e “se apenas uma coleta puder ser feita, a amostra deve ser retirada no meio do principal canal do corpo d’água e a meia profundidade”. No entanto, seguir essas orientações de forma rigorosa nem sempre é simples, o que dá origem a trabalhos em que nem todos os procedimentos de amostragem podem ser integralmente atendidos.

Com o propósito de buscar alternativas às soluções convencionais de amostragem, o presente trabalho desenvolveu dois protótipos para a coleta de amostras de águas superficiais e, para tanto, foram usadas ferramentas como drones multirrotores de pequeno porte, micro controladores embarcados e *bailers*. Conforme relatado a seguir, os resultados mostraram-se satisfatórios e, de maneira geral, os protótipos desenvolvidos demonstram ter potencial para melhorar de forma significativa os trabalhos de campo relacionados à amostragem de águas superficiais.

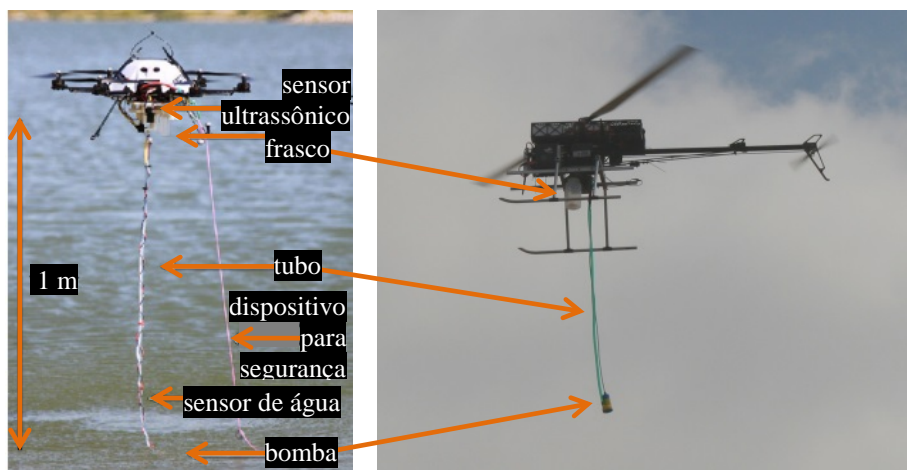
2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver soluções para serviços de amostragem de águas superficiais que: (i) atendessem a consagrados procedimentos de amostragem; (ii) fossem considerados simples de se construir, operar e manter; e (iii) demonstrassem potencial para se transformar em produtos / serviços viáveis. Para tanto, o objetivo específico desta pesquisa foi desenvolver protótipos de produtos / serviços que fossem construídos integrando-se diferentes tecnologias emergentes e que, ao mesmo tempo, pudessem ter seu desempenho avaliado a partir de experimentos laboratoriais e de campo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos trabalhos de Ore (2014) e Schwarzbach (2014) sobre automatização de serviços de amostragem de águas superficiais com drones (**Figuras 1 e 2**), assumiu-se que aparelhos multirrotores de pequeno porte seriam essenciais para o desenvolvimento de abordagens alternativas à forma convencional de se fazer coletas. De fato, quando se fala em amostragem de água, não é de se estranhar o potencial que os drones têm para substituir aparatos fixos e reduzir de forma significativa a necessidade de trilhas, pontes ou embarcações para acessar os diferentes

pontos de coleta. Além disso, se bem sucedida, a introdução de drones em serviços de amostragem pode conferir maior rapidez, segurança e confiabilidade às coletas, o que alteraria drasticamente a dinâmica das atividades de campo.



Figuras 1 e 2 – Exemplos de sistemas de coleta de água embarcados em drones. Fontes: adaptado de Ore (2014); e adaptado de Schwarzbach (2014).

Desse modo, dois drones foram usados: um *DJI Phantom 1* (sem nenhuma câmera embarcada) e um *DJI Phantom 3 Professional* – integrado a uma câmera capaz de transmitir imagens em tempo real (*first person view* – FPV). Trabalhou-se também com o conceito de modularidade, segundo Banzi (2012) que diz respeito à construção de sistemas complexos a partir de dispositivos simples conectados entre si. Essa abordagem permitiu que dois protótipos fossem criados simplesmente a partir da combinação entre módulos distintos (como microcontroladores, sensores e *bailers*), conforme descrito adiante.

Além disso, tendo em vista a numerosa quantidade de técnicas de amostragem existente, desde o início dos trabalhos convencionou-se que apenas uma modalidade de monitoramento seria abordada. Nesse sentido, toda pesquisa foi orientada para atender às especificidades de serviços dedicados a avaliar os níveis de turbidez em corpos d'água. Para esse tipo de trabalho, cada amostra coletada deve ter no mínimo 10 mL, o necessário para mensurar os níveis de turbidez da água com um equipamento portátil próprio para campo.

3.1 Protótipo 1: microcontrolador e bomba peristáltica

O protótipo 1 foi desenvolvido ainda sob influência dos trabalhos de Ore (2014) e Schwarzbach (2014). A exemplo das soluções desenvolvidas por esses autores, esse protótipo associava um drone multirrotor a uma bomba hidráulica, cujo acionamento ocorria quando o multirrotor sobrevoava um espelho d'água qualquer a uma altura definida previamente (**Figura 3**).

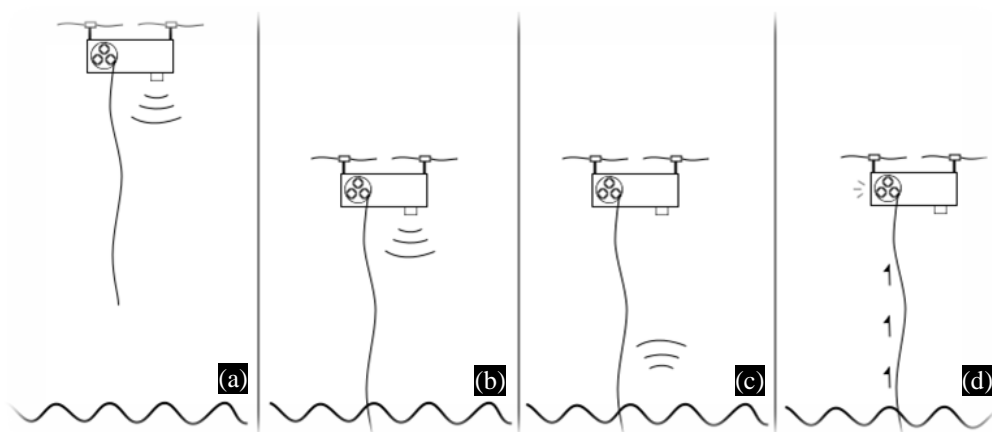
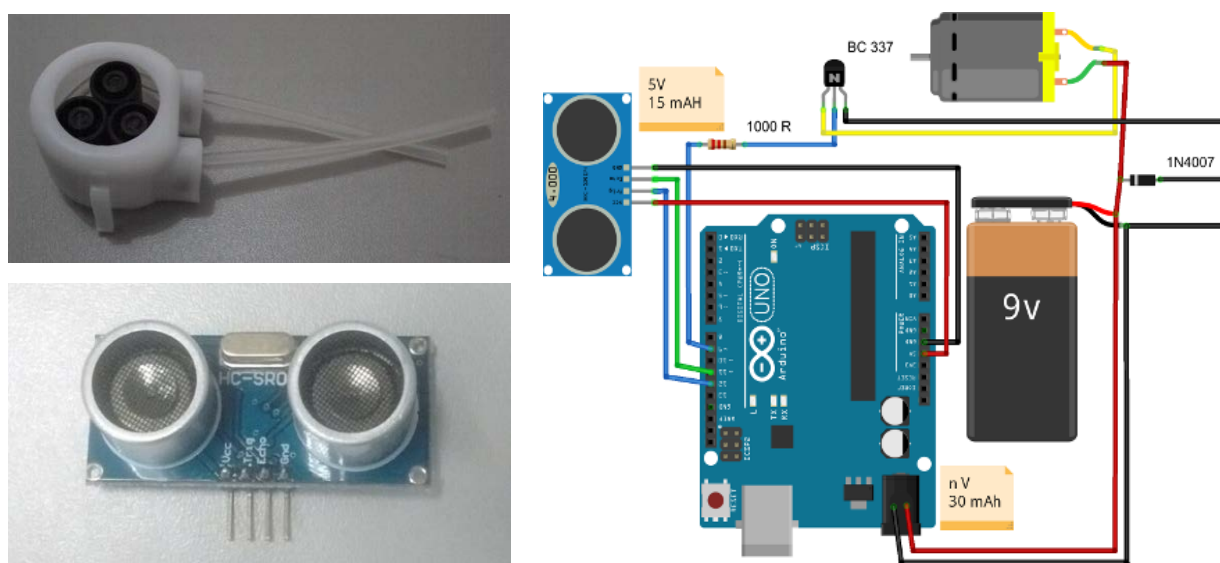


Figura 3 – O dispositivo embarcado no drone emitia um sinal supersônico durante o voo (a) e, ao se aproximar do ponto de coleta (b), esse sinal era refletido (c) e ativava o sistema de coleta de água (d) do protótipo 1. Fonte: acervo do projeto².

O desenvolvimento do dispositivo de coleta foi baseado em arduino, uma placa microcontroladora leve e ideal para usuários iniciantes, associado a uma bomba peristáltica de corrente contínua e um sensor supersônico HC-SR04 (**Figuras 4 e 5**). Além disso, o circuito (**Figura 6**) foi idealizado para que a massa total do sistema fosse a menor possível.



Figuras 4, 5 e 6 – O protótipo 1 contou com uma bomba peristáltica, um sensor de distância por ondas supersônicas HC-SR04 (à esquerda) e um circuito (à direita). Fonte: acervo do projeto³.

Usou-se também uma vasilha plástica para que todos dispositivos pudessem ser fixados à porção inferior do drone *DJI Phantom 1* e à sua porção externa foi acoplado um recipiente de acrílico para o armazenamento de 15 mL de amostra coletada. (**Figuras 7 e 8**).

² Ilustração de André D. L. Zanchetta.

³ Ilustração de André D. L. Zanchetta feita com o software *open source* Fritzing.



Figuras 7 e 8 – Componentes eletrônicos e recipiente para armazenamento da amostra embarcados na vasilha plástica (à esquerda) e a versão final do protótipo 1 (à direita). Fonte: acervo do projeto.

Foram feitos testes em bancada para: (i) verificar o funcionamento do sistema; (ii) identificar a altura da coluna d'água que a bomba peristáltica era capaz de recalcar (40 cm); e (iii) definir no código fonte / sketch⁴ a altura de 30 cm para o acionamento do módulo de bombeamento. Também foram feitos voos experimentais sobre um lago artificial, cujo espelho d'água era relativamente amplo e apresentava características de corpo d'água lântico (**Figuras 9 e 10**).



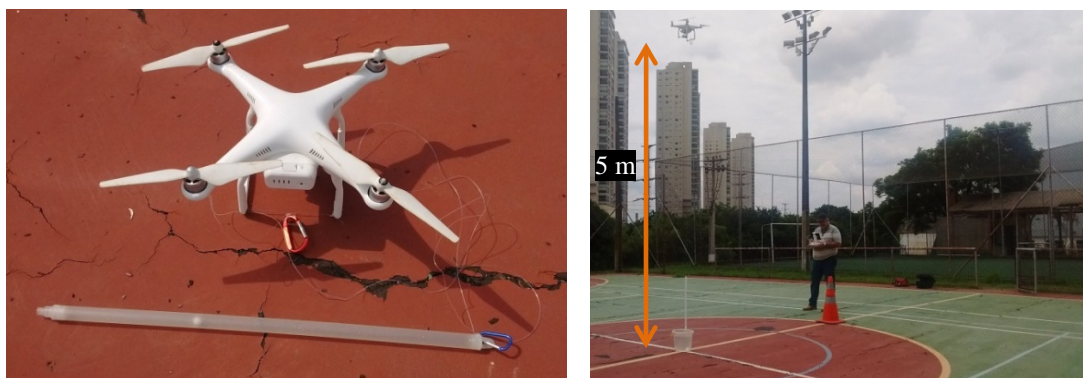
Figuras 9 e 10 – Protótipo 1 em pleno voo (à esquerda) e coletando amostra de água em um lago artificial. Fonte: acervo do projeto.

3.2 Protótipo 2: amostragem hidrodinâmica

O segundo protótipo foi idealizado como uma solução em que o sistema de coleta de água pudesse ser inteiramente descartável e, ao mesmo tempo, independente de componentes elétricos. Para tanto, o sistema de bombeamento do protótipo 1 foi substituído por um *bailer* de 60 cm de altura e 1 cm de diâmetro preso ao drone DJI *Phantom 3 Professional* por uma linha de nylon de 5 m e dois mosquetões de encaixe rápido (**Figuras 11 e 12**)⁵.

⁴ Código fonte de André D. L. Zanchetta. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y2m4deqw>>.

⁵ *Bailers* são amostradores geralmente descartáveis compostos por um cilindro com base de funil e uma válvula em forma de esfera no seu interior.



Figuras 11 e 12 – Detalhe do *bailer* ligado ao drone por uma linha de *nylon* e mosquetões (à esquerda) e do conjunto em um teste para coletar amostra de um balde com água. Fonte: acervo do projeto.

Além disso, como o *DJI Phantom 3 Professional* conta com uma câmera integrada de fábrica e um rádio que pode ser conectado a um *tablet*, o protótipo 2 foi concebido para que as amostras de água pudessem ser coletadas mesmo sem nenhum contato visual direto entre o operador e o drone. Para tanto, o voo seria feito em modo FPV, ou seja, com o operador controlando o drone a partir das imagens transmitidas em tempo real para um *tablet* a partir da câmera embarcada na aeronave. Por fim, fixou-se um dispositivo flutuador feito de isopor na porção superior do *bailer* para impedir que esse amostrador ficasse totalmente submerso durante os procedimentos de coleta, garantindo a amostragem de um volume pré-determinado de água.

As atividades de campo com o protótipo 2 foram feitas às margens de um reservatório. Embora não houvesse nenhuma barreira física para impedir o contato visual direto entre o drone e o operador, isso não foi um problema porque as coletas foram feitas de modo que a distância entre o piloto e o drone fosse suficiente para garantir que a operação também ocorresse sem contato visual direto (**Figuras 13 e 14**). Sendo assim, as amostragens experimentais foram todas realizadas por intermédio das imagens transmitidas em tempo real para o *tablet* integrado ao rádio.



Figuras 13 e 14 – Preparação do protótipo 2 com drone, câmera, *bailer*, flutuador, rádio e *tablet* (à esquerda) e o teste preliminar feito ainda com contato visual direto (à direita)⁶. Fonte: acervo do projeto.

⁶ Foto de Flavio S. J. de Freitas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relacionados ao protótipo 1 foram positivos, inclusive em função do êxito na coleta da amostra de água (**Figura 15**). No entanto, constatou-se que a higienização ou substituição da mangueira seria um obstáculo à dinâmica da maioria dos trabalhos de campo. Além disso, as amostragens só podiam ser feitas quando havia contato visual direto do operador com o drone, o que era essencial para garantir que o drone chegaria à altura pré-estabelecida (30 cm) para acionar o sistema de bombeamento.



Figura 15 – Recipiente de acrílico preenchido parcialmente com água coletada pelo protótipo1 durante o voo em um lago artificial. Notar que no interior do recipiente também há lodo / sedimentos que foram bombeados do fundo do lago. Fonte: acervo do projeto.

Já os resultados do protótipo 2 indicaram que as coletas em modo FPV foram bem sucedidas, sendo que cerca de 150 mL de água foram coletados em cada um dos voos realizados (suficiente para até 15 leituras de turbidez em turbidímetros portáteis). Além disso, a fixação do *bailer* à linha de *nylon* por meio de um mosquitão mostrou-se bastante oportuna, pois permitia que a troca de um *bailer* com amostra por outro ainda vazio acontecesse de forma rápida e sem que o drone precisasse pousar.

Após a conclusão de todos experimentos, fez-se uma comparação entre os pontos positivos e negativos dos dois protótipos com a intenção de identificar a solução com maior potencial para ser usada por profissionais da área (**Quadro 1**). De maneira geral, o desempenho do protótipo 2 foi superior ao do protótipo 1. Em relação à coleta de amostras, por exemplo, observou-se que o volume de 15 mL coletado pelo protótipo 1, embora fosse suficiente para realizar análises de turbidez, era bastante limitado em comparação com os 150 mL do protótipo 2. Da mesma forma, o protótipo 1 mostrou-se consideravelmente complexo no que se refere à customização e à limpeza / higienização.

Quadro 1 - Comparação entre os protótipos. Fonte: acervo do projeto.

Características		Protótipos	
		1	2
Design	Atende aos procedimentos preconizados pelo <i>Standard Methods</i> ?	sim	sim
	Distância vertical entre o drone e o espelho d'água no instante da coleta	30 cm	5 m
	Volume de amostra coletada por voo	15 mL	150 mL
	Faz coleta de amostras a partir de uma profundidade específica? ⁷	sim	não
	Faz coleta de amostras integradas ⁸ ?	não	sim
	Permite o uso de uma câmera fotográfica embarcada ao drone?	não	sim
Operação	Complexidade da customização do sistema por usuários leigos	alta	baixa
	Complexidade da operação do sistema conduzida por usuários leigos	alta	baixa
	Operação pode ser feita sem contato visual direto?	não	sim
	Requer limpeza / higienização?	sim	não

De fato, para efetuar qualquer alteração em relação ao volume coletado ou à altura de coleta seria necessário mudar parte do código fonte / *sketch* e eventualmente até incorporar novos componentes no circuito. Além disso, a limpeza / higienização do sistema de bombeamento também se mostrou pouco prática, afinal esse procedimento exigia que, ao término de cada coleta, a bomba peristáltica fosse desmontada, de modo que a mangueira pudesse ser limpa ou substituída.

De qualquer forma, o protótipo 1 foi capaz de fazer amostragens a partir de uma profundidade específica, o que tende a ser bastante útil sempre que houver necessidade de coletar uma amostra de água que esteja, por exemplo, abaixo de uma espessa camada de óleo. Por outro lado, as amostragens feitas com o protótipo 2 foram todas do tipo integrada, ou seja, envolveram a coleta da mesma fração de água ao longo da coluna d'água percorrida pelo *bailer*. Trata-se também de um tipo de amostragem bastante importante, afinal os materiais em suspensão não se distribuem de forma homogênea ao longo da coluna d'água e é justamente a amostra integrada que garante a realização de uma coleta capaz de contemplar essa variabilidade.

Quanto à segurança do aparelho durante as coletas, o protótipo 2 destacou-se por permitir que o drone mantivesse uma distância vertical de 5 m em relação ao espelho d'água, algo que ficou reduzido a apenas 30 cm no caso do protótipo 1. Outro ponto positivo do protótipo 2 tem a ver com

⁷ É quando a sucção da amostra é feita a partir de um ponto fixo da coluna d'água.

⁸ Uma amostra é integrada quando os volumes coletados ponto a ponto em diferentes profundidades são iguais.

o uso de uma câmera fotográfica acoplada ao drone. Esse acessório mostrou potencial para otimizar os serviços de campo porque confere aos operadores a possibilidade de fazer duas atividades durante um mesmo voo: coletar amostras de água e fazer registros fotográficos. Por fim, também contaram a favor do protótipo 2 a opção por amostradores descartáveis – algo bastante oportuno para a dinâmica dos trabalhos de campo – e a adoção de uma configuração em que a customização e a operação pudessem ser percebidas por usuários leigos como atividades de baixa complexidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A partir dos resultados dos experimentos feitos em laboratório e campo, pôde-se constatar que os dois protótipos desenvolvidos têm potencial para melhorar de forma significativa os procedimentos de campo para amostragem de água superficial. O simples fato de serem soluções baseadas no uso de drones multirrotores de pequeno porte já é uma vantagem em relação aos procedimentos convencionais de amostragem. De fato, esse tipo de arranjo reduz a necessidade de embarcações ou pontes para acessar diferentes pontos de coleta e também permite que os serviços de amostragens sejam feitos de acordo com procedimentos consagrados como, por exemplo, os preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Quando comparados entre si, o protótipo 2 destacou-se por: (i) sua simplicidade de operação / manutenção; (ii) ser capaz de coletar até 150 mL de água em cada voo; e (iii) contar com dispositivos descartáveis ou de fácil higienização. Além disso, por usar de câmeras capazes de transmitir para o piloto / operador as imagens do voo em tempo real, o protótipo 2 pode ser mantido a uma distância vertical mínima de 5 m em relação ao espelho d'água ao longo de toda operação e, ao mesmo tempo permite que coletas sejam feitas mesmo sem contato visual direto do operador com o drone.

Os resultados deste artigo também permitem vislumbrar uma série de oportunidades e desafios inerentes ao uso de drones em serviços de amostragem de água. Seria oportuno, por exemplo, aplicar soluções semelhantes às apresentadas neste artigo durante a fase de construção de empreendimentos de grande porte para, por exemplo, avaliar o desempenho de medidas estruturais como bacias de retenção. O interessante de uma aplicação assim é que bastariam somente dois voos – uma coleta dentro da estrutura e outra no ponto de descarga – para que bacias assim tivessem seu desempenho avaliado, com a vantagem de atender aos requisitos preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e sem ter que mobilizar uma embarcação sequer.

Por fim, o maior desafio em relação aos resultados deste artigo está associado à necessidade de se coletar amostras com volumes de água superiores a 150 mL, o que corresponde à capacidade máxima do protótipo 2. Para os casos em que isso acontecer, existem ao menos duas formas para garantir a realização das coletas. A primeira delas envolveria o uso de um drone com capacidade de carga adicional adequada às especificidades de cada tipo de monitoramento. A segunda alternativa, mais complexa e que demandaria novas pesquisas, passaria pelo uso de microlaboratórios autônomos embarcados em drones que fariam todas as análises de qualidade da água com transmissão dos resultados em tempo real.

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e à Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FIPT) pelos recursos concedidos, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) por permitir a realização deste trabalho, ao prof. Dr. Marcelo De Julio (*in memoriam* / ITA), à profa. Dra. Dione Morita (Poli-USP), aos colegas do IPT Alvaro Kopezynski, Antônio Catib, Benedito Nachbal, Kaique Justino e Marcelo Gramani e, por fim, aos então estagiários do IPT André Zanchetta e Ernesto Agostini.

REFERÊNCIAS

- ANTTILA, S. *Assessing temporal representativeness of water quality monitoring data*. Journal of Environment Monitoring, v. 14, n. 2, p. 589-595, 2012.
- BANZI, M. *Primeiros passos com o arduino*. São Paulo: Novatec, 2012. p. 221.
- CLESCERI, L. S. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association, 1998. p. 1220.
- GETTEL, M. *Improving suspended sediment measurements by automatic samplers*. Journal of Environment Monitoring, v. 13, n. 10, p. 2703-2709, 2011.
- ORE, J. P. *Autonomous aerial water sampling*. Journal of Field Robotics, v. 32, n. 8, p. 1095-1113, 2014.
- SCHWARZBACH, M. *Remote water sampling using flying robots*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS, 2014, Anchorage. Proceedings... Anchorage: ICUAS, 2014.