

**HANNA PATRÍCIA GOMES BITENCOURT**

**USO DA TECNOLOGIA DE DRONES EM BARRAGENS: UM ESTUDO  
EXPLORATÓRIO POR MEIO DA TEORIA DO ENFOQUE META ANALÍTICO  
CONSOLIDADO**

Trabalho de Conclusão de Curso no Formato de Nota Técnica, apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragem para usos Múltiplos; Departamento de Engenharia Ambiental- DEA; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia- UFBA; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- ANA, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Puga Santos Carvalho  
Co-orientador: Msc. Edivaldo José da Silva Junior

Salvador  
2024

# **Uso da tecnologia de drones em Barragens: Um estudo exploratório por meio da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado**

**Hanna Patrícia Gomes Bitencourt<sup>1</sup>**

## **Resumo**

O objetivo deste estudo foi apresentar um modelo integrador da literatura sobre o uso da Tecnologia de drones em barragens. Foi realizada pesquisa exploratória, de abordagem quantitativa, por meio da Teoria do Enfoque Meta Consolidado - TEMAC, de Mariano e Rocha (2017). Definiu-se como string de pesquisa os termos "Dam" juntamente com o termo "drone" e como base de dados a Web of Science. A coleta de dados mostrou que há crescimento no número de citações sobre o tema principalmente nos últimos 5 anos, alcançando a marca de 133, fato explicado pela evidente importância atual da tecnologia e seu impacto direto na uma crescente adoção dessa tecnologia devido aos seus benefícios em termos de segurança, eficiência, precisão e capacidade de coleta de dados. Para obter os dados, utilizou-se as bases de dados Web of Science™, e para a visualização dos mapas de calor utilizou-se o software VOSviewer 1.6.20. análise revelou padrões de citação entre autores e colaborações entre estudos. Destacaram-se pesquisas sobre o uso de drones para modelagem tridimensional de barragens e determinação do nível da água em corpos d'água. Entretanto, nem todos os estudos relacionados a "barragem" e "drone" abordam diretamente o monitoramento de barragens.

**Palavras-chave:** Barragem; Drone; TEMAC.

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil e discente do Curso de Especialização em Segurança de Barragens – Universidade Federal da Bahia. Email: hanna.bitencourt@ufba.br

## **Abstract**

The aim of this study was to present an integrative model of literature on the use of Drone Technology in dams. An exploratory, quantitative approach was conducted using the Consolidated Meta-Focus Theory (TEMAC) by Mariano and Rocha (2017). The search string consisted of the terms "Dam" along with the term "drone," and the Web of Science database was used. Data collection showed a growth in the number of citations on the topic, especially in the last 5 years, reaching 133, a fact explained by the evident current importance of the technology and its direct impact on the increasing adoption of this technology due to its benefits in terms of safety, efficiency, accuracy, and data collection capacity. To obtain the data, the Web of Science™ databases were used, and VOSviewer 1.6.20 software was used for visualizing heat maps. The analysis revealed patterns of citation among authors and collaborations between studies. Research on the use of drones for three-dimensional modeling of dams and determination of water level in bodies of water stood out. However, not all studies related to "dam" and "drone" directly address dam monitoring.

**Keywords:** Dam; Drone; TEMAC.

## **1 INTRODUÇÃO**

A avaliação do dano estrutural causado por fissuras em estruturas de concreto é crucial para determinar a integridade das barragens. Devido à exposição prolongada à pressão da água e aos efeitos da erosão, infiltração e escavação, fissuras são inevitáveis e a inspeção em tempo real das estruturas das barragens é essencial para identificar essas fissuras a tempo. No entanto, o método de detecção manual de fissuras, apesar de ser simples, apresenta baixa eficiência e já resultou em tragédias devido à gestão inadequada e monitoramento deficiente das fissuras e danos. Portanto, é crucial implementar métodos eficientes e automatizados para a detecção de fissuras em barragens. Para superar os problemas do processo de detecção manual, diversas técnicas digitais têm sido estudadas para alcançar a detecção de fissuras e extração de características em infraestruturas civis, como detecção de bordas, segmentação por limiar e reconstrução 3D.

Embora de suma importância, a aceitação da tecnologia de drones em barragens é um conceito relativamente atual e ainda pouco explorado no Brasil. Por esta razão, possui uma quantidade ainda reduzida de trabalhos e pesquisa aplicadas. Foram encontrados na base de dados Web of Science, 133 trabalhos que se organizam de forma progressiva, comprovando o interesse científico no tema. Porém, por ser um tema relativamente novo se comparado a outros campos mais consolidados, se faz necessário compreender: quais os autores que mais

contribuíram para o tema de aceitação da tecnologia? Quais as principais abordagens? E quais os principais trabalhos?

O aumento do interesse e dos estudos voltados para a área de inspeção usando drones sugere várias tendências e benefícios. Primeiramente, os drones oferecem uma maneira eficiente e econômica de realizar inspeções em locais de difícil acesso ou perigosos, como torres de energia, pontes, turbinas eólicas, edifícios altos e estruturas industriais. Isso reduz significativamente o risco de acidentes para os trabalhadores.

Além disso, os drones podem fornecer uma visão aérea detalhada e em tempo real das instalações, permitindo uma análise mais precisa e abrangente das condições estruturais e da integridade dos equipamentos. Isso pode levar a uma detecção precoce de problemas e falhas, permitindo a implementação de medidas corretivas antes que ocorram danos graves ou interrupções na operação.

Outro benefício é a capacidade dos drones de coletar uma grande quantidade de dados de forma rápida e eficiente, utilizando uma variedade de sensores, como câmeras de alta resolução, termográficas e de imagem hiperespectral. Isso possibilita uma análise mais abrangente e detalhada das condições das instalações e infraestruturas, bem como a identificação de anomalias e padrões não visíveis a olho nu.

Assim o objetivo deste estudo é apresentar um modelo integrador da literatura sobre o uso da Tecnologia de drones em barragens. Para alcançar este objetivo será realizado uma pesquisa exploratória por meio da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado - TEMAC. No tópico 2 é apresentada a revisão acerca do uso de drones em estudos de barragens, no tópico 3 é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa. Em seguida, o tópico 4 apresenta os resultados obtidos e o tópico 5 apresenta as conclusões alcançadas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

A tecnologia de drones, também conhecida como veículos aéreos não tripulados (VANTs), são aeronaves que podem ser pilotadas sem a presença de um piloto humano a bordo (Irizarry et al., 2012; Fan e Saadeghvaziri, 2019). Geralmente, são controlados remotamente por um piloto no solo ou por um computador embarcado. Os VANTs vêm em uma ampla variedade de formas e tamanhos, desde pequenos drones até grandes aeronaves militares. Eles podem ser categorizados em dois grupos principais: de asa fixa e de asa rotativa. Os VANTs

geralmente utilizam uma variedade de tecnologias de comunicação para se comunicar com a estação terrestre, como frequências de rádio, redes celulares e links via satélite. Os VANTs são frequentemente equipados com uma variedade de sensores, incluindo câmeras, LiDAR, imagens térmicas e outros, para coletar dados e realizar tarefas como mapeamento, vigilância, inspeção e monitoramento de saúde (Jordan et al., 2018; Sivakumar e TYJ, 2021; Otto et al., 2018).

Os drones possuem a capacidade de chegar a áreas remotas de grande importância com pouca ou nenhuma necessidade de intervenção humana, além de demandarem o mínimo possível de energia, esforço e tempo. Isso representa uma meta crucial que está sendo adotada globalmente, especialmente nos setores de gestão de desastres, agricultura de precisão, inspeção de construção e infraestrutura, e saúde.

O uso de UAVs está aumentando rapidamente em importantes domínios de aplicação civil. A tecnologia de drones pode ser usada para o monitoramento da saúde estrutural na engenharia de barragens (Zhao et al., 2021).

Tradicionalmente, as inspeções eram feitas manualmente, o que era ineficiente e arriscado. No entanto, o uso de equipamentos de monitoramento automático está aumentando para fornecer dados contínuos de monitoramento. Métodos como o sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) e o escaneamento a laser terrestre (TLS) têm sido empregados, embora tenham limitações, como cobertura limitada ou custos elevados. Sensores de fibra e outros sensores de contato também são utilizados, mas sua aplicação para monitoramento de emergência é difícil. A necessidade de uma imagem visual da área danificada é destacada, porém, sem a localização precisa da câmera ou pontos de controle, avaliar a extensão dos danos é desafiador.

Alguns exemplos de como a tecnologia de drones está sendo usada na engenharia de barragens incluem: (i) Inspeção e Levantamento (Henriques and Roque, 2015): Drones podem ser usados para inspecionar e mapear estruturas de barragens, fornecendo imagens e dados detalhados sobre a condição da barragem. Isso pode ajudar a identificar problemas potenciais precocemente, como rachaduras, vazamentos e erosão, e permitir a manutenção preventiva (Zhao et al., 2022). (ii) Modelagem 3D (Buffi et al., 2017, Buffi et al., 2018, Ridolfi et al., 2017): Drones podem ser usados para criar modelos 3D de estruturas de barragens, fornecendo informações detalhadas sobre a geometria da barragem e permitindo simulações precisas de seu comportamento em diferentes condições. (iii) Avaliação de Danos (Wang et al., 2022, Wang et al., 2020, Li et al., 2012): Drones podem ser usados para avaliar rapidamente os danos após um desastre natural ou outros eventos. (iv) Levantamento

Hidrográfico (Ridolfi e Manciola, 2018): Drones equipados com sensores LiDAR podem ser usados para criar mapas detalhados do terreno e níveis de água, permitindo o monitoramento preciso dos níveis de água e a previsão de inundações potenciais. (v) Monitoramento de Vegetação (Jiang et al., 2023): Drones podem ser usados para monitorar o crescimento da vegetação ao redor da barragem, o que pode impactar a estabilidade da barragem. (vi) Construção de Barragens: VANTs podem ser usados para identificar a topografia para seleção de locais adequados para construção de barragens (Ajayi et al., 2018), remoção de barragens (Evans et al., 2022) ou controle de qualidade da construção (Yin et al., 2023).

Um sistema de inspeção por drone que pode superar os limites das pesquisas de mão-de-obra existentes é útil para o monitoramento no local ou investigação de restrições da barragem e da bacia hidrográfica durante enchentes. Drones capazes de voar mesmo sob chuva e ventos fortes e que possam resistir ao submergimento em água em caso de pouso de emergência indesejado são raros (Park e You, 2023).

Em resumo, a tecnologia de drones oferece uma série de vantagens, como imagens de alta resolução, acesso a áreas de difícil acesso e coleta rápida de dados, o que pode melhorar significativamente a eficiência da inspeção e monitoramento de barragens. No entanto, é importante reconhecer algumas limitações, como a duração limitada do voo, regulamentações de espaço aéreo e a necessidade de operadores qualificados.

### 3 MÉTODO

Este estudo é do tipo exploratório com abordagem quantitativa por meio da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado – TEMAC, de Mariano e Rocha (2017).

Segundo Mariano e Rocha (2017, p. 435):

A técnica consegue realizar clusters por universidades, países, áreas de conhecimento, garantindo funcionalidade para os pesquisadores e até mesmo informações importantes acerca de áreas que necessitem recursos, norteadas até mesmo, políticas públicas. Por último, estão a eficácia do tempo e custo sendo esses, provavelmente, os maiores diferenciais do enfoque consolidado. A análise do TEMAC é desenhada em etapas claras e possui o respaldo das teorias bibliométricas em seus princípios. Adicionalmente, foi integrado toda a parte tecnológica por meio de programas 100% gratuitos, fazendo com que o pesquisador possa ter livre acesso aos instrumentos necessários para suas análises.

O TEMAC possui três etapas: Etapa 1. Preparação da pesquisa, Etapa 2. Apresentação e interrelação dos dados e Etapa 3. Detalhamento, modelo e validação por evidências.

A etapa 1 foi estabelecido respondendo as questões sobre o termo de pesquisa, espaço temporal e base de dados. Foram utilizados diversos termos de pesquisa que estão associados ao tema central. A própria plataforma permite o uso do “OR”. Os termos utilizados foram “Dam” e “Drone”. O espaço temporal foi entre 2016 e 2024. A base de dados utilizada foi a *Web of Science*, considerada como uma das melhores e mais completas bases de dados (Mariano, et. al, 2011). Entre as vantagens mais relevantes da base de dados estão a excelente cobertura temporal (a partir de 1900 – presente para algumas revistas).

A etapa 2, utilizou-se a própria plataforma do *Web Of Science* encontrando a. as revistas mais relevantes; b. revistas que mais publicam sobre o tema; c. evolução do tema ano a ano; d. documentos mais citados; e. autores que mais publicaram vs. Autores que mais foram citados; f. países que mais publicaram; g. universidades que mais publicaram; g. agências que mais financiam a pesquisa; h. áreas que mais publicam e as h. frequência de palavras-chave.

Por último na etapa 3, foram utilizados o software gratuito *VOSViewer* 1.6.20 (<http://www.vosviewer.com/>), onde foi feita a apresentação e interrelação dos dados e o detalhamento, modelo integrador e validação por evidências, com a finalidade de criar *clusters* de aproximação dos dados. Foram realizadas análises de co-citação de todos os trabalhos indexados na base de dados e de *coupling* dos últimos 8 anos. A análise de co-citação apresenta as principais abordagens da pesquisa e o *coupling* os principais fronts de pesquisa.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Etapa 1. Preparação da pesquisa**

Foi realizada uma busca na Web Of Science pelos seguintes tópicos “Dam” OR “Drone”, sendo encontrado 133 registros indexados na base de dados entre 1993 a 2024. É interessante notar que ao pesquisar sobre "dam" e "drone", muitos dos artigos relacionados envolvem a produção de mel. Isso se deve ao fato de que a palavra “dam” também pode se referir a “mãe/rainha” e a palavra "drone" também pode se referir a "zangão" que é um termo comum na apicultura para descrever as abelhas machos responsáveis pela reprodução na colmeia. Assim, é possível que os resultados da pesquisa estejam relacionados à área de apicultura não descartando a possibilidade do uso da tecnologia de drones aplicada na monitorização e manejo de colmeias e na apicultura de precisão.

Embora os termos "barragem" e "drone" sejam palavras-chave comuns em muitos dos artigos analisados, é importante observar que nem todos esses artigos têm como foco principal a interseção direta desses dois temas. Em vez disso, muitos desses trabalhos abordam o uso de drones em uma variedade de áreas de estudo, com a barragem sendo mencionada em um contexto secundário ou correlacionado.

Os estudos incluem uma ampla gama de aplicações de drones, desde a monitorização ambiental até a inspeção de estruturas, mapeamento topográfico e até mesmo busca e salvamento. Embora as barragens sejam mencionadas em vários desses trabalhos, elas frequentemente servem como um cenário de aplicação para demonstrar o potencial dos drones em diferentes contextos.

É interessante notar que a tecnologia dos drones tem sido aproveitada em uma variedade de disciplinas para coleta de dados de forma eficiente e precisa. Os artigos examinados refletem essa diversidade de aplicativos, destacando a versatilidade dos drones como ferramentas de pesquisa em diferentes campos.

Portanto, enquanto os temas de barragens e drones estão presentes na maioria dos artigos, é importante reconhecer que muitos desses estudos exploram o uso de drones em geral, com as barragens sendo uma aplicação específica dentro desse contexto mais amplo.

## **Etapla 2. Apresentação e interrelação dos dados**

Após a análise dos registros, observou-se que o registro mais antigo na Web Of Science relacionado a utilização de drones para inspeção de estruturas hidráulicas é um artigo de 2016, *“Accurate 3D models for a 4D monitoring of linear hydraulic structures: opportunities and characteristics of UAV”*, publicado por La Houille Blanche. No mesmo ano, mais um artigo foi publicado pela mesma revista, *“Feedback on the use of drones at EDF's hydraulic works”*. Naquele ano, os estudos sobre o uso de drones na dinâmica de barragens ainda estavam em estágio inicial. Ambos os artigos abordam o uso de drones para inspeção de estruturas, sendo uma aplicação inovadora e promissora em diferentes contextos. Enquanto o primeiro discute o emprego de drones para monitorar o estado de barragens e diques, para desenvolver métodos de metrologia por fotogrametria aérea leve, o segundo texto apresenta experiências da Electricité de France (EDF) no uso de drones para inspeção de estruturas hidráulicas, como barragens e condutas forçadas, e ambos já discutem melhorias e avanços tecnológicos, como o uso de diferentes sensores e algoritmos para análise de dados capturados pelos drones.



No ano seguinte, 2017, mais três artigos são publicados. Benatto et. al (2017), descreve a importância da inspeção de barragens, dadas suas implicações para a segurança das populações a jusante e para a manutenção das estruturas. Já Buffi et al (2017), discute a precisão dos modelos obtidos por meio de levantamentos de drones, especialmente em relação à localização dos pontos de controle terrestre (GCPs) utilizados para georreferenciar os dados e Ridolfi et al (2017), explora a precisão dos modelos obtidos por meio de levantamentos de drones, investigando como a localização dos pontos de controle terrestre afeta o modelo tridimensional resultante. Assim como em 2018, Ridolfi e Manciola, discutem o uso de drones para inspeção de estruturas hidráulicas, como barragens, visando melhorar a eficiência e a precisão das inspeções. Alkhein e Mouftah (2018), sugerem o uso de veículos em movimento para recarregar nós sensores sem fio, como parte de redes de monitoramento de estruturas como pontes e barragens. É possível verificar a preocupação com a precisão e confiabilidade dos dados obtidos nessas inspeções.

Rangel, Freitas e Rodrigues (2019), descreve o desenvolvimento de uma ferramenta hidroambiental multipropósito que utiliza drones aéreos e aquáticos para monitorar rios e barragens, destacando a importância do monitoramento da qualidade da água e a comunicação em tempo real entre os drones. Nesse mesmo ano, Costa, Ferreira e Macedo (2019), abordam a utilização de drones para quantificar a área e o volume de reservatórios artificiais em áreas rurais remotas, fornecendo uma solução para os desafios logísticos associados à medição precisa desses corpos d'água. Jospin, Stoven-Dubois e Cucci (2019), abordam o problema do voo autônomo em cenários ao ar livre complexos e propõe uma solução de navegação cooperativa usando drones secundários para fornecer informações de posicionamento em ambientes desafiadores. Al Mansoori et al (2019), destaca a importância dos UAVs na obtenção de informações hidrológicas precisas para tomadas de decisão eficientes em diferentes contextos.

Em 2020, Lira et al, relata uso de drones destinado à geração de um modelo digital de elevação da microbacia para avaliar sua morfometria, compreendendo a topografia da área para quantificar o volume de sedimentos retidos pelas estruturas de bioengenharia. De Haas et al (2020), propõe o uso de drones para coletar dados de topografia pré e pós-eventos da dinâmica de erosão e deposição em fluxos de detritos para analisar padrões e melhorar a avaliação e a mitigação de riscos em barragens de contenção. Nesse mesmo viés, Lee et al (2020), faz uso de drones para analisar o mecanismo e o impacto do fluxo de detritos.

Pinto et al (2020), desenvolve uma nova arquitetura cognitiva para otimizar a coleta de dados, processamento de informações e tomada de decisões em inspeções visuais contínuas de

grandes empreendimentos de construção, como barragens e taludes de mineração, onde os drones são integrados a uma arquitetura colaborativa com outros agentes para melhorar a eficiência e a precisão das operações de inspeção. Kushi et al (2020), utiliza drones para compilar um conjunto de dados para treinar e testar os algoritmos de detecção de objetos como árvores em áreas de diques e barragens com o objetivo de melhorar o monitoramento dessas áreas. Nessa mesma vertente, Morgan e Hodgson (2021), faz uso de drones para criação de modelos tridimensionais das copas das árvores em uma floresta próxima a uma barragem de terra, criando um modelo tridimensional das copas das árvores que fornecem informações detalhadas sobre a vegetação na região da barragem, permitindo avaliar o crescimento e potenciais riscos associados à vegetação próxima à barragem.

Kramer e Felder (2021), realizou análises de fluxos de superfície livre em um vertedouro escalonado utilizando análises baseadas em imagens de drones, permitindo a análise das características do fluxo e da aeração da superfície livre, visando quantificar os efeitos de escala e fornecer dados de validação para diretrizes de projeto e simulações numéricas relacionadas ao projeto de vertedouros de barragens. Yu et al (2021), utiliza drones para coleta de informações durante e após o rompimento da barragem, incluindo a realização de varreduras aéreas da barragem residual e o levantamento das marcas de inundação para melhorar a compreensão dos mecanismos de falha e a capacidade de prever enchentes resultantes de rompimentos de barragens durante emergências. Gómez-Zurd (2021), analisa a viabilidade do uso de drones para monitorar deformações em estruturas, com foco específico em uma barragem de arco-gravidade, avaliando deformações na estrutura da barragem com alta precisão. Ribeiro et al (2021), desenvolve uma metodologia para planejar e executar missões de busca e salvamento utilizando veículos aéreos não tripulados (UAVs) em cenários de emergência e pós-desastre, uma vez que o uso de drones fornece respostas rápidas e eficientes em situações de emergência, como o rompimento de barragens. Os drones são utilizados para realizar missões de busca e salvamento, e a pesquisa aborda os desafios logísticos associados ao roteamento dos UAVs com estações de recarga móveis durante tais operações de emergência. Consoli et al (2021), utiliza drones para realizar o mapeamento detalhado do rio e coleta de dados biológicos, permitindo quantificar as mudanças nas propriedades do ecossistema e entender como as respostas ecológicas estão relacionadas às dinâmicas geomorfológicas, ajudando a compreender melhor os impactos das barragens nos ecossistemas fluviais e a orientar a gestão adaptativa de barragens e o projeto de fluxos ambientais.

Spero et al (2022), cria um ambiente de Realidade Virtual (VR) tridimensional para visualizar o desastre da Barragem Teton de 1976, com o intuito de comunicar os riscos associados a falhas de barragens para o público em geral e os tomadores de decisão. O uso de drones permite a obtenção de imagens aéreas do terreno ao redor da barragem, que são processadas usando fotogrametria de Estrutura a partir do Movimento para criar um modelo tridimensional do terreno. Essas imagens contribuem para a reconstrução digital da barragem e do terreno circundante, permitindo uma visualização mais imersiva e realista do desastre no ambiente de VR. Siikanen et al (2022), faz uso de drones para coleta de dados por meio de imagens multiespectrais de infravermelho próximo para monitorar a estabilidade das estruturas dos lagos de rejeitos e detectar possíveis problemas, como vazamentos de água ou outras ameaças ambientais, além de monitorar e verificar mudanças estruturais em áreas de mineração, especialmente em relação aos lagos de rejeitos e suas barragens.

Al-Mamari et al (2022), estima a perda anual de solo na área de captação a montante de um reservatório, bem como avalia o sedimento retido no reservatório de uma barragem em Omã, utilizando drones para analisar a siltificação do reservatório e estimar o volume de sedimentos retidos, auxiliando no entendimento do impacto da erosão do solo e a deposição de sedimentos no reservatório, fornecendo dados importantes para a gestão e manutenção adequadas do reservatório da barragem. Venkatesh et al (2022), desenvolve uma técnica de teste não destrutivo (NDT) quantitativo para estruturas de concreto subaquáticas, visando a inspeção periódica e a detecção precoce de deterioração. O uso de drones, neste caso, está relacionado ao uso de veículos robóticos operados remotamente (ROV), que são utilizados para realizar inspeções subaquáticas de maneira segura e eficiente. Esses ROVs, como o ROV Beluga descrito no estudo, são capazes de transportar equipamentos de inspeção, como câmeras, lasers e transdutores, e realizar operações de NDT, contribuindo para melhorar a capacidade de inspeção de barragens e outras estruturas subaquáticas, permitindo a detecção de defeitos e a avaliação de sua integridade de forma mais eficaz.

Enea, Iosub e Stoleriu (2023), desenvolvem e aplicam metodologias para gerar e validar materiais cartográficos de alta resolução, utilizando técnicas de estrutura a partir do movimento (SFM) em imagens adquiridas por meio de um drone a baixo custo. Este estudo de caso utilizou as ruínas da represa de Belci, localizada na Romênia, a qual foi analisada, permitindo a realização de medidas GIS na vegetação arbórea da área de estudo e a geração de um modelo digital do terreno (DTM) da represa. Song, Kam e Jones (2023), fez o uso de veículo submarino operado remotamente (ROV) para possibilitar a realização de levantamentos batimétricos subaquáticos de forma eficiente e econômica, fornecendo dados

detalhados sobre a topografia do fundo do lago ou reservatório, o que é essencial para modelar com precisão os cenários de inundação decorrentes da falha da barragem, visando melhorar a precisão na mapeação de áreas inundadas por enchentes. Park e You (2023), desenvolvem um sistema de monitoramento avançado por drones para barragens e rios, uma plataforma de gestão de barragens e bacias hidrográficas, chamada K-Twin SJ, que utiliza dados em tempo real e modelos de simulação para apoiar a tomada de decisões para resposta a enchentes e gestão de recursos hídricos. Jiang et al (2023), utilizou drones para coleta de dados de observação contínua das zonas ribeirinhas de reservatórios ao longo de vários anos, ajudando a compreender a evolução da vegetação, os efeitos dos distúrbios de inundação e os processos ecológicos que influenciam a vegetação ao redor das barragens. Di et al (2023), analisou o deslizamento de terra em Zhuangfang, especialmente sua estabilidade e potencial de bloqueio do rio, utilizando levantamento aéreo para coletar dados sobre as características do deslizamento e sua extensão, contribuindo para a análise da situação e dos riscos associados ao deslizamento em relação à barragem. Zhu e Tang (2023), propoe um método automático de detecção e diagnóstico de danos em estruturas hidráulicas, como barragens de concreto, coletando imagens das estruturas de concreto, incluindo as fissuras e danos nelas presentes para desenvolver conjuntos de dados de fissuras e testar o método proposto de detecção automática de danos, permitindo uma análise detalhada das fissuras e outros tipos de danos. Sodnik, Mikos e Bezak (2023), apresentam uma visão geral das medidas de mitigação adotadas em uma bacia de captação típica de torrentes alpinas na Eslovênia, com foco na proteção de infraestruturas contra desastres relacionados a sedimentos, como inundações repentinas, fluxos de detritos e deslizamentos. É utilizado drones para estabelecimento de um extenso sistema de monitoramento na área investigada, que inclui medições geodésicas periódicas usando pequenos drones (UAV), importante para observar e monitorar eventos extremos potenciais futuros e avaliar a eficácia das medidas de mitigação implementadas, incluindo barragens de contenção.

Recentemente, Congress et al (2024), utilizou drones para monitorar e construir um modelo 3D do dique da barragem, a fim de avaliar sua estabilidade, permitindo uma análise mais abrangente da inclinação do dique e melhora na identificação de potenciais problemas de estabilidade, contribuindo assim para a prevenção de falhas catastróficas.

O artigo mais citado é *“A Low-Cost, UAV-Based, Methodological Approach for Morphometric Analysis of Belci Lake Dam Breach, Romania”* de Enea, A; Iosub, M e Stoleriu, CC, publicado em 2023, na revista Water (86 citações) e fala a respeito da elaboração e aplicação de metodologias para a geração e validação de materiais de

mapeamento de alta resolução, utilizáveis tanto para análises locais em grande escala quanto para o cálculo de certos parâmetros morfométricos com base em técnicas de Estrutura a partir do Movimento (SFM), aplicadas a imagens adquiridas por meio de um drone de baixo custo. Com a ajuda de um drone, foram realizadas medições SIG da vegetação arbórea da área de estudo, e um modelo digital do terreno (DTM) da barragem foi gerado. Os custos de tal empreendimento metodológico são baixos, o que permite a repetição das etapas envolvidas na elaboração dos mapas necessários para tais estudos em uma base semanal, sazonal ou anual, ou após eventos extremos (inundações, deslizamentos de terra etc.).

Ao analisar o número de publicações por autor, torna-se evidente que não é possível identificar um autor que se destaque significativamente em termos de quantidade de publicações. Isso se deve ao fato de que o número máximo de publicações por autor foi de três. Portanto, não há diferenças substanciais na quantidade de publicações entre os autores, o que torna difícil determinar um autor que tenha contribuído significativamente com o maior número de trabalhos. Esse resultado sugere que, neste contexto específico, diversos autores contribuíram de forma semelhante para o corpo de conhecimento relacionado ao tema em questão. Em vez de focar na quantidade de publicações por autor, pode ser mais relevante considerar a qualidade e o impacto das contribuições individuais para entender melhor a pesquisa realizada nessa área específica.

A conferência que maior quantidade de trabalhos rendeu foi IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), com 3 registros. Estados Unidos e China, foram os países que mais publicaram sobre o tema, com aproximadamente 40% do total de 133 registros encontrados. O Brasil aparece em 3º posição com 10 trabalhos. As agências financiadoras com maiores contribuições são a National Natural Science Foundation of China (NSFC) com 8 registros e a National Science Foundation (NSF) com 7 registros. 95% dos trabalhos são publicados em inglês, sendo apenas dois trabalhos publicados em idioma Frances e nenhum em português. As universidades com maiores contribuições são Swiss Federal Institutes of Technology Domain (5 trabalhos) e a Utah System of Higher Education (4 trabalhos). Conforme a figura 1, a área que mais estudou sobre o tema abordado foi *Environmental Sciences Ecology*, seguido de *Engineering*.

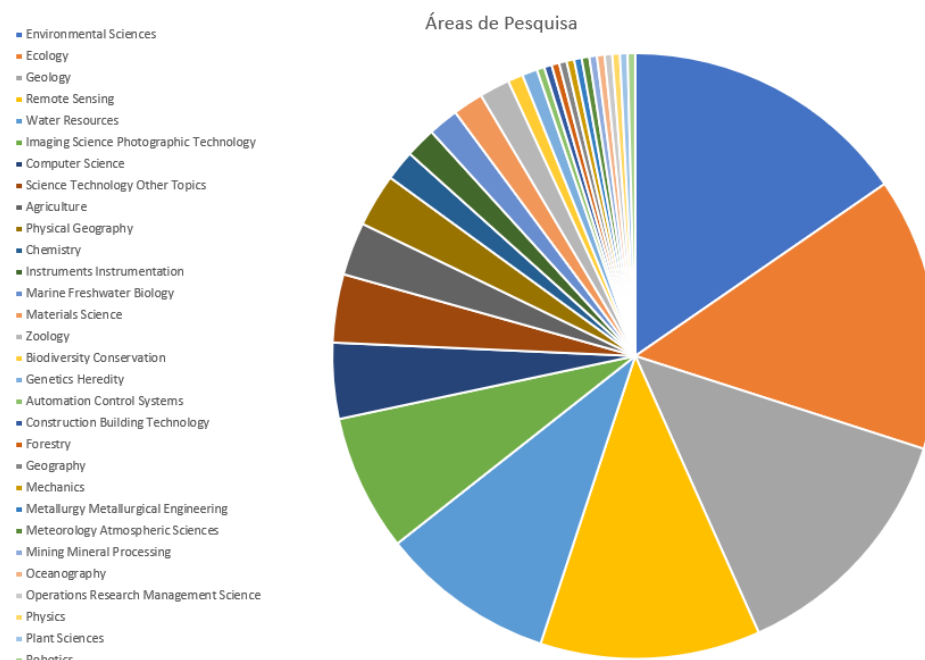


Figura 1. Gráfico de áreas de pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora. Extraído do Web of Science

Na figura 2, aparece a quantidade de itens publicados ano a ano. Pode-se perceber que existe um aumento gradativo da quantidade de artigos publicados, sendo que os artigos do ano de 2024 publicados ainda não estão todos disponíveis e este artigo está levando em consideração as publicações até o mês corrente de abril. De acordo com Mariano e Rocha (2017), essa análise é significativa e fundamentada na Teoria Epidêmica de Goffman, que examina o motivo pelo qual uma determinada área de conhecimento cresce ou declina.

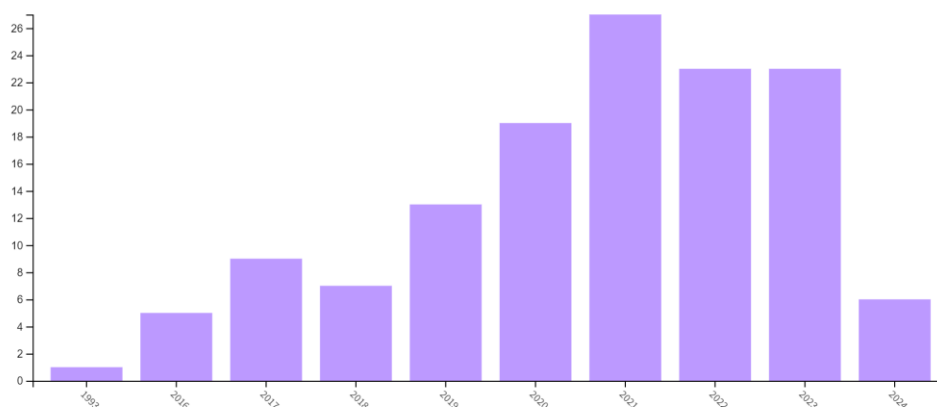


Figura 2. Gráfico de crescimento do número de publicações

Fonte: Elaborado pela autora. Extraído do Web of Science

### Etapa 3. Detalhamento, modelo integrador e validação por evidências

O uso do software VOSviewer 1.6.20 permitiu a criação de mapas de calor para uma análise detalhada de co-citation e coupling com base nos dados da Web of Science sobre o tema "barragem" e "drone". Na análise de co-citation, é possível identificar quais autores são frequentemente citados em conjunto, revelando similaridades entre suas áreas de pesquisa. Já na análise de coupling, é observado quando dois ou mais trabalhos fazem referência a um terceiro trabalho em comum, sugerindo uma convergência de assuntos. A figura 3 apresentada representa o mapa de coupling gerado por meio dessas análises.

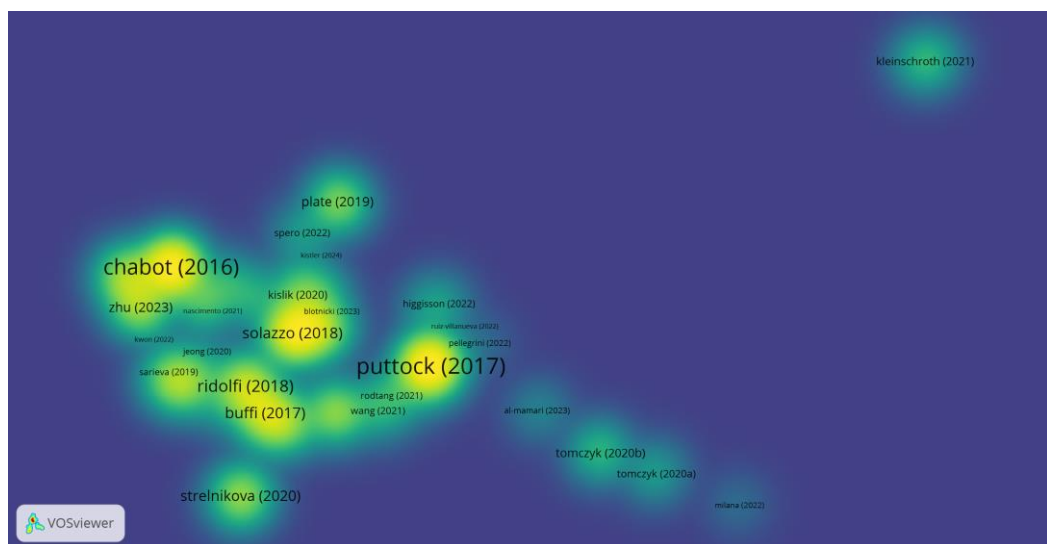


Figura 3. Mapa de calor de coupling

Fonte: Elaborado pela autora. Extraído do VOSviewer 1.6.20.

As pesquisas de Buffi et al (2017) e Ridolfi e Manciola (2018), são fundamentadas na abordagem do uso de drones para aplicações relacionadas à água, embora com focos diferentes. Em Buffi et al (2017), o uso de drones na obtenção de modelos tridimensionais de barragens, com ênfase na precisão desses modelos em relação à localização dos pontos de controle terrestres (GCPs). Ele destaca a importância de escolher corretamente a localização dos GCPs para garantir a precisão do modelo final, que é essencial para análises de vulnerabilidade e outras finalidades relacionadas à engenharia. Por outro lado, Ridolfi e Manciola (2018), se concentra na utilização de drones para determinar o nível da água em corpos d'água, como lagos artificiais. Ele descreve uma metodologia que utiliza uma plataforma de sensoriamento composta por um drone e uma câmera para capturar imagens da superfície da água, que são então processadas para determinar o nível da água. O texto destaca

a precisão razoável alcançada por essa abordagem, o que a torna útil para melhorar a modelagem hidráulica e apoiar estratégias de mitigação de enchentes.

Como discutido anteriormente, é importante reconhecer que nem todas as pesquisas que fazem menção às palavras "barragem" e "drone" estão diretamente relacionadas ao tema específico de monitoramento de barragens por meio de drones. Por exemplo, Solazzo et al (2018), desenvolveu um estudo que investigou o Planalto de Paria, uma área potencialmente importante de origem de areia eólica na região do Grand Canyon, nos EUA, utilizando LiDAR baseado em UAV e fotogrametria de estrutura a partir de movimento (SfM) para produzir modelos topográficos de alta resolução das dunas eólicas na região. Enquanto isso, Puttock et al (2017), outro estudo concentrou-se nos efeitos das atividades dos castores euro-asiáticos sobre o armazenamento de água, regimes de fluxo e qualidade da água em um ambiente florestal. Embora ambos os estudos tenham em comum o uso de drones e abordem questões ambientais, não estão diretamente ligados ao monitoramento de barragens. Isso ressalta a importância de entender o contexto específico de cada pesquisa ao interpretar os resultados e aplicá-los adequadamente às áreas de interesse.

Com o intuito de apresentar a pesquisa realizada na base de dados Web of Science, foi criada uma nuvem de palavras, conforme mostrado na figura 4, utilizando a ferramenta online TagCrowd para avaliação de conteúdo. Inicialmente, todas as palavras-chave presentes nos 133 registros encontrados na base de dados foram extraídas e compiladas em um documento de texto. Esse documento foi então carregado no site TagCrowd para a geração do diagrama de nuvem de palavras, no qual as cinquenta palavras-chave mais frequentes nos registros foram destacadas. O tamanho da fonte de cada palavra-chave na nuvem é proporcional ao número de vezes que ela aparece nos registros. Esse processo facilita a visualização das principais áreas de pesquisa relacionadas ao tema em estudo.

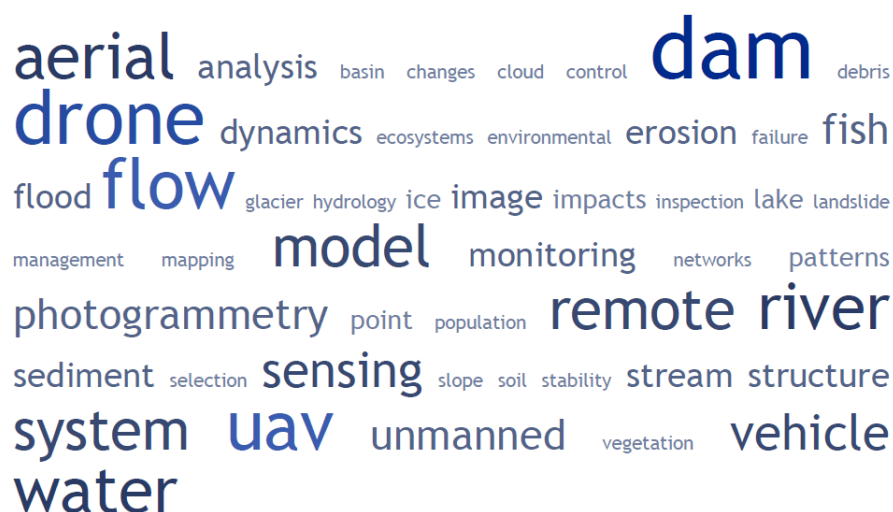




Figura 4. Nuvem de palavras chaves

Fonte: Elaborado pela autora. Extraído do site TagCrowd.

As palavras chave revelam características próprias de cada trabalho, permitindo agrupar os estudos e classificá-los (Mariano et al., 2011). Observando a figura 4, pode-se verificar que as principais temáticas de pesquisa a respeito do tema barragem e drones são fluxo/correnteza, modelo e UAV, constituindo essas três palavras chave com o mais elevado número de alusões após as expressões que norteiam essa pesquisa: "dam" e "drone".

Importe frisar a palavra "model", uma vez que os drones capturam dados do mundo real, enquanto os modelos de simulação podem ser comparados a uma "máquina de prever" que utiliza esses dados para criar representações virtuais de cenários ou eventos. Assim como os drones coletam informações em tempo real sobre o ambiente físico, como imagens aéreas, vídeos ou dados de sensores, os modelos de simulação utilizam essas informações para criar ambientes virtuais onde diferentes variáveis podem ser manipuladas e testadas, destaca-se que os drones fornecem dados empíricos do mundo real, enquanto os modelos de simulação permitem explorar cenários hipotéticos ou prever resultados com base nesses dados.

É importante ressaltar a relevância da palavra "model", uma vez que os drones são responsáveis por capturar dados do mundo real, enquanto os modelos de simulação podem ser comparados a uma "máquina de prever", que utiliza esses dados para criar representações virtuais de cenários ou eventos. Enquanto os drones coletam informações em tempo real sobre o ambiente físico, como imagens aéreas, vídeos ou dados de sensores, os modelos de simulação utilizam essas informações para criar ambientes virtuais onde diferentes variáveis podem ser manipuladas e testadas. Destaca-se que muitos dos artigos estudados demonstraram preocupação na criação de modelos para análise e simulação dos dados coletados. Esses modelos são essenciais para entender e prever diversos aspectos relacionados ao tema em questão, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento na área. Como exemplo, Ridolfi et al (2017), investiga a precisão dos modelos obtidos por meio de levantamentos com drones.

A palavra-chave "fluxo/correnteza" estar relacionada à análise de padrões de fluxo de água, movimentos de correntes ou escoamento em determinada área. Ela pode ser especialmente relevante para estudos hidrológicos, análises de rios ou estudos de transporte de sedimentos. A presença dessa palavra-chave indica que o texto aborda questões relacionadas à dinâmica da água e aos processos de transporte associados. Por outro lado, também sugere a "deposição de detritos", foco na deposição de sedimentos ou materiais sólidos em um determinado local,

como em Lee et al (2020), que realizou uma análise numérica do fluxo de detritos utilizando a técnica SPH (Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas), para verificar a aplicabilidade dos parâmetros do solo por meio da comparação com estudos anteriores e analisar o impacto do fluxo de detritos usando imagens de drone.

Outra alusão à palavra-chave se refere "regimes de água" pode se referir aos padrões de comportamento ou características do fluxo de água em uma determinada região. Isso pode incluir variações sazonais nos níveis de água, padrões de inundação, ou mesmo mudanças de longo prazo nos regimes hidrológicos devido a fatores como mudanças climáticas ou intervenções humanas. A presença dessa palavra-chave sugere uma análise dos padrões de fluxo de água e sua influência no ambiente estudado. Song, Kam e Jones (2023), por exemplo, examinaram a utilidade de levantamentos batimétricos baseados em ROV na mapeação de inundação por enchentes em alta resolução para um estudo de caso hipotético da ruptura da represa do Lago Tuscaloosa no estado do Alabama, EUA.

Dessa maneira, as distintas perspectivas a respeito do tema visam expandir o conhecimento a respeito do tema, ficando clara a utilidade em se conhecer as abordagens fundamentais. Pensando em um mapa de calor de co-citation que tem como principal objetivo mostrar os estudos mais próximos entre os autores e suas principais colaborações ou referências no tema, percebe-se que não há citações entre os autores relacionados nos artigos estudados. Isso pode significar algumas coisas. Primeiro, pode indicar que os autores abordam o tema de forma independente, sem referenciar ou colaborar com outros pesquisadores que trabalham na mesma área. Isso pode ser resultado de diferentes perspectivas teóricas, metodológicas ou áreas de interesse. Segundo, pode sugerir que a área de estudo ainda está em desenvolvimento ou que há uma falta de consenso sobre as principais referências ou colaborações no campo. Isso pode ser comum em áreas emergentes da pesquisa ou em tópicos que envolvem múltiplas disciplinas. Por fim, também é possível que os estudos analisados não representem uma amostra representativa da literatura sobre o tema, e que outras fontes de informação precisem ser consideradas para obter uma visão mais abrangente das colaborações e referências no campo.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS**

O artigo analisou os principais trabalhos científicos acerca do uso de drones em barragens publicados dentre os anos de 1993 e 2024. Para isso utilizou os seguintes métodos bibliométricos: Co-citation e Coupling. Dessa forma, o estudo apontou os principais autores na área pesquisada que contribuíram para a consolidação dos conceitos do uso de drones na dinâmica de barragens.

Embora o estudo englobe pesquisas de 1993 a 2024, foi apenas em 2016 que houve maior crescimento de estudos sobre o tema. Isso se deve principalmente ao fato de que a tecnologia de drones estava em desenvolvimento e ainda não havia sido amplamente adotada em aplicações específicas como monitoramento de barragens. Além disso, a compreensão total dos benefícios e limitações dos drones para esse fim ainda não havia sido totalmente explorada, o que contribuiu para a falta de estudos abrangentes nessa área.

A evolução dos estudos sobre o uso de drones na inspeção de estruturas hidráulicas ao longo do tempo mostra uma progressão significativa em termos de abordagens, aplicabilidade e tecnologias utilizadas. Inicialmente, em 2016, os estudos estavam em estágio inicial, com foco no uso de drones para monitorar e inspecionar barragens e outras estruturas hidráulicas. Ao longo dos anos, houve um aumento no número de artigos publicados, indicando um crescente interesse e reconhecimento da importância dessa abordagem para a segurança e gestão dessas estruturas.

Os estudos foram avançando para abordar uma variedade de aspectos, incluindo a precisão dos modelos gerados por drones, a análise da estabilidade das estruturas, a detecção de danos, o monitoramento ambiental e até mesmo a utilização de drones em situações de emergência, como o rompimento de barragens. Além disso, houve uma diversificação das técnicas e tecnologias empregadas, com o desenvolvimento de novos métodos de coleta e processamento de dados, bem como o uso de sensores especializados e algoritmos avançados para análise e interpretação dos dados.

A análise revelou padrões de citação entre autores e colaborações entre estudos. Destacaram-se pesquisas sobre o uso de drones para modelagem tridimensional de barragens e determinação do nível da água em corpos d'água. Entretanto, nem todos os estudos relacionados a "barragem" e "drone" abordam diretamente o monitoramento de barragens. Alguns, como os estudos sobre origem de areia eólica e efeitos das atividades dos castores, usam drones para outros fins. A nuvem de palavras destacou as principais áreas de pesquisa,

como fluxo/corrente e modelo, revelando a diversidade de abordagens no campo. A ausência de citações entre autores pode indicar independência nas abordagens de pesquisa, o estágio inicial da área ou a necessidade de considerar outras fontes para obter uma visão mais completa do campo.

O uso de drones tornou-se uma ferramenta essencial para os engenheiros e pesquisadores envolvidos na gestão e manutenção de barragens e outras estruturas hidráulicas, oferecendo uma maneira eficiente e precisa de obter informações detalhadas sobre o estado e o ambiente dessas estruturas. A pesquisa continua avançando, explorando novas aplicações e aprimorando as técnicas existentes, com o objetivo de melhorar a segurança e a eficiência no gerenciamento dessas importantes infraestruturas.

Para futuras pesquisas, é recomendável realizar estudos mais abrangentes e empregar métodos de análise alternativos aos utilizados neste trabalho. O software utilizado oferece uma variedade de opções de análise, e as bases de dados disponíveis fornecem informações valiosas sobre o tema. Explorar outras bases de dados poderia oferecer perspectivas diferentes e enriquecer a compreensão atual do campo. Além disso, conduzir análises com diferentes períodos temporais pode gerar resultados e conclusões distintas, ampliando ainda mais o conhecimento sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

Ajayi, O. G.; Palmer, M.; Salubi, A. A. (2018). Modelling farmland topography for suitable site selection of dam construction using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. *Remote Sens. Appl.*, 11, 220-230.

Alkheir, A. A.; Mouftah, H. T. (2018). RF-Energy Harvesting from Moving Vehicles: Mathematical Modeling and Selection Protocol. In 2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) (pp. 274-279). Halifax, NS, Canada. doi: 10.1109/Cybermatics\_2018.2018.00075.

Benatto, Gisele Alves dos Reis; Riedel, Nicholas; Thorsteinsson, Sune; Poulsen, Peter Behrendorff; Thorseth, Anders; Dam-Hansen, Carsten; Mantel, Claire; Forchhammer, Søren; H. B. Frederiksen, Kenn; Vedde, Jan. (2017). Development of outdoor luminescence imaging for drone-based PV array inspection. Paper presented at 5th international workshop on LED and Solar Applications, Kgs. Lyngby, Denmark.

Buffi G.; Manciola P.; De Lorenzis L.; Cavalagli N.; Comodini F.; Gambi A.; Gusella V.; Mezzi M.; Niemeier W.; Tamagnini C. (2017). Calibration of finite element models of concrete arch-gravity dams using dynamical measures: The case of ridracoli. *Procedia Eng.*, 199 pp. 110-115.

Buffi, G.; Manciola, P.; Grassi, S.; Barberini, M.; Gambi, A. (2017). Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1562–1579. <https://doi-org.ez10.periodicos.capes.gov.br/10.1080/19475705.2017.1362039>.

Congress, SSC; Jaladurgam, R; Kumar, P; Verreault, L; Puppala, AJ; Patil, UD. (2024). Slope Stability Assessments of Reservoir Embankments Using Uncrewed Aerial Vehicle (UAV) Datasets. *GEO-CONGRESS 2024-GEOTECHNICAL SYSTEMS* Page19-31 Vancouver, CANADA.

Consoli, Gabriele; Haller, Rudolf M.; Doering, Michael; Hashemi, Saman; Robinson, Christopher T. (2021). Tributary effects on the ecological responses of a regulated river to experimental floods, *Journal of Environmental Management*, Volume 303, 2022, 114122, ISSN 0301-4797

Costa, J. V. Silva; Ferreira, M. E.; Macedo, M. N. (2019). Estimating Area and Water Volume of Rural Reservoirs Using Drones. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, Japan, 2019, pp. 9109-9112, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898746.

de Haas, T.; Nijland, W.; de Jong, S.M. (2020). How memory effects, check dams, and channel geometry control erosion and deposition by debris flows. *Sci Rep* 10, 14024 <https://doi-org.ez10.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-020-71016-8>

Di, Y.; Wei, Y.; Tan, W.; Xu, Q. (2023). Research on Development Characteristics and Landslide Dam Hazard Prediction of Zhuangfang Landslide in the Upper Reaches of the Nu River. *Sustainability*, 15, 15036. <https://doi.org/10.3390/su152015036>

Enea, A.; Iosub, M.; Cristian, C.S. (2021). A Low-Cost, UAV-Based, Methodological Approach for Morphometric Analysis of Belci Lake Dam Breach, Romania. *Water*, Basel, v. 15, n. 9, p. 1655. *Engineering Failure Analysis*, Volume 125, 105441, ISSN 1350-6307. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105441>.

Evans A.D.; Gardner K.H.; Greenwood S.; Still B. (2022). UAV and structure-from-motion photogrammetry enhance river restoration monitoring: A dam removal study. *Drones*, 6 (5), p. 100.

Fan, J.; Saadeghvaziri, M.A. (2019). Applications of drones in infrastructures: Challenges and opportunities. *Int. J. Mech. Mechatron. Eng.* 13 (10), 649–655.

Gómez-Zurdo, Rubén Sancho. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*, Barcelona, v. 73, n. 561.

Henriques M.J.; Roque D. (2015). Unmanned aerial vehicles (UAV) as a support to visual inspections of concrete dams. *Second International Dam World Conference*, Laboratorio Nacional De Engenharia Civil Lisbon, pp. 1-12 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114122>.

Irizarry, J.; Gheisari, M.; Walker, B.N. (2012). Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. *J. Inf. Technol. Constr.* 17 (12), 194–212. ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106813>.

Jiang, Weiwei; Zhou, Yipeng; Xiao, Ning; Xiao, Henglin. (2023). Dam periodic storage drives the spatial pattern of vegetation towards banded evolution, *Ecological Indicators*, Volume 155, 110937, ISSN 1470-160X. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110937>.

Jordan, S.; Moore, J.; Hovet, S.; Box, J.; Perry, J.; Kirsche, K.; Lewis, D.; Tse, Z.T.H. (2018). State-of-the-art technologies for UAV inspections. *IET Radar Sonar Navig.* 12 (2), 151–164.

Jospin, Laurent; Alexis Stoven-Dubois; Davide Antonio Cucci. (2019). Photometric Long-Range Positioning of LED Targets for Cooperative Navigation in UAVs. *Drones* 3, no. 3: 69. <https://doi.org/10.3390/drones3030069>

Kramer, Matthias; Stefan Felder. (2021). Remote Sensing of Aerated Flows at Large Dams: Proof of Concept. *Remote Sensing* 13, no. 14: 2836. <https://doi.org/10.3390/rs13142836>.

Kuchi, M. T; Hoque, M. Abdelguerfi; M. C. Flanagan, (2020). Levee-Crack Detection from Satellite or Drone Imagery Using Machine Learning Approaches. *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Waikoloa, HI, USA, 2020, pp. 976-979. doi: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323936.

Lee, S.; Lim, H.; Lim, M.; Lee, E.; Lee, K.-I.; Kim, Y. (2020). Numerical Analysis of Debris Flow Using Drone Images and NFLOW. *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, 19(3), 1–8. <https://doi.org/10.12814/JKGSS.2020.19.3.001>

Li Y.; Gong J.H.; Zhu J.; Ye L.; Song Y.Q.; Yue Y.J. (2012). Efficient dam break flood simulation methods for developing a preliminary evacuation plan after the wenchuan earthquake. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12 (1), pp. 97-106.

Lira-Caballero, Verónica Guadalupe; Martínez-Menez, Mario Roberto; Romero-Manzanares, Angélica; García-Moya, Edmundo; Ríos-Berber, José Donaldo; Rubio-Granados, Erasmo. (2020). Morphometry of gullies and bioengineering for sediment retention in the Mixteca Region of Oaxaca, Mexico, *Ecohydrology & Hydrobiology*, Volume 20, Issue 2, Pg 289-300, ISSN 1642-3593, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.03.001>.

M. Amin Hariri-Ardebili; Golsa Mahdavi; Larry K. Nuss; Upmanu Lall, (2023). The role of artificial intelligence and digital technologies in dam engineering: Narrative review and outlook, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 126, Part A.

Mahmood M. Al-Mamari, Sameh A. Kantoush, Tahani M. Al-Harrasi, Ali Al-Maktoumi, Karim I. Abdrabo, Mohamed Saber, Tetsuya Sumi. (2022). Assessment of sediment yield and deposition in a dry reservoir using field observations, RUSLE and remote sensing: Wadi Assarin, Oman, *Journal of Hydrology*, Volume 617, Part A, 2023, 128982, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128982>.

Mansoori, S. A.; Al-Ruzouq, R.; Dogom, D. A.; Shamsi, M. Al; Mazzm, A. A; Aburaed, N. (2019). Photogrammetric Techniques and UAV for Drainage Pattern and Overflow Assessment in Mountainous Terrains - Hatta/UAE. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, Japan, pp. 951-954, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898151.

Mariano, A. M.; Rocha, M. S. (2017). Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. In *AEDM International Conference–Economy, Business and Uncertainty: Ideas for a European and Mediterranean industrial policy*. Reggio Calabria (Italia).

Otto, A.; Agatz, N.; Campbell, J.; Golden, B.; Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks* 72 (4), 411–458.

Park, D.; You, H. (2023). A Digital Twin Dam and Watershed Management Platform. *Water*, Basel, v. 15, n. 11, p. 2106.

Pinto, Milena F.; Leonardo M; Honório, Aurélio Melo; Andre L. M. Marcato. (2020). A Robotic Cognitive Architecture for Slope and Dam Inspections. *Sensors* 20, no. 16: 4579. <https://doi.org/10.3390/s20164579>

Rangel, R.K.; Freitas, J.L.; Rodrigues, V.A. (2019). Development of a Multipurpose Hydro Environmental Tool Using Swarms, UAV and USV. *Proceedings of the 2019 IEEE Aerospace Conference*; Big Sky, MT, USA, pp. 1-15.

Ribeiro, R. G.; Cota, L. P.; Euzébio, T. A. M.; Ramírez, J. A; Guimarães, F. G. (2022). Unmanned-Aerial-Vehicle Routing Problem With Mobile Charging Stations for Assisting Search and Rescue Missions in Postdisaster Scenarios," in *IEEE Transactions on Systems*,

Man, and Cybernetics: Systems, vol. 52, no. 11, pp. 6682-6696, Nov. 2022, doi: 10.1109/TSMC.2021.3088776.

Ridolfi, Elena; Buffi, Giulia; Venturi, Sara; Manciola, Piergiorgio. (2017). Accuracy Analysis of a Dam Model from Drone Surveys. *Sensors* 17, no. 8: 1777. <https://doi.org/10.3390/s17081777>

Ridolfi, Elena; Manciola, Piergiorgio. (2018). Water Level Measurements from Drones: A Pilot Case Study at a Dam Site. *Water* 10, no. 3: 297. <https://doi.org/10.3390/w10030297>

Roche, J. P.; Tron, M.; Mauris, F. (2016). Maîtrise de la sûreté des ouvrages. Retour d'expérience sur l'utilisation des drones pour l'inspection des ouvrages hydrauliques d'EDF. *La Houille Blanche*, 102(4), 48–56. <https://doi.org/10.1051/lhb/2016039>.

Siikanen, S.; Savolainen, M.; Karinen, A.; Puputti, J.; Kauppinen, T.; Uusitalo, S.; Paavola, M. (2022). Drone-based near-infrared multispectral and hyperspectral imaging in monitoring structural changes in mine tailing ponds. In A. Mendioroz, & N. P. Avdelidis (Eds.), *Thermosense: Thermal Infrared Applications XLIV* Article 1210908 International Society for Optics and Photonics SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2618294>.

Sivakumar, M.; Naga Malleswari, T. Y. J. (2021). A literature survey of unmanned aerial vehicle usage for civil applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13. <https://doi.org/10.1590/jatm.v13.1233>

Sodnik, J.; Mikoš, M.; Bezak, N. (2023). Torrential Hazards' Mitigation Measures in a Typical Alpine Catchment in Slovenia. *Applied Sciences*, Basel, v. 13, n. 20, p. 11136.

Song, J.; Kam, J.; Jones, S. (2024). Utility of remotely operated underwater vehicle in flood inundation mapping for dam failure: A case study of Lake Tuscaloosa Dam. *River Research and Applications*, 40(1), 63–76. <https://doi-org.ez10.periodicos.capes.gov.br/10.1002/rra.4217>

Spero, H. R.; I. Vazquez-Lopez, K; Miller, R; Joshaghani, S. (2022). Cutchin, and J. Enterkine. "Drones, Virtual Reality, and Modeling: Communicating Catastrophic Dam Failure." *International Journal of Digital Earth* 15, no. 1: 585–605. doi:10.1080/17538947.2022.2041116.

Tournadre, V.; Beilin, J.; Pierrot-Deseilligny, M.; Faure, P. H. (2016). Conception de modèles 3D précis pour un suivi 4D optimisé des ouvrages hydrauliques linéaires : intérêt et particularité du drone. *La Houille Blanche*, 102(3), 33–38. <https://doi.org/10.1051/lhb/2016028>.

V. Venkatesh. (2022). Assessment of Structural Integrity of Submerged Concrete Structures Using Quantitative Non-Destructive Techniques Deployed from Remotely Operated Underwater Vehicles (ROV). *OCEANS 2022 - Chennai*, Chennai, India, pp. 1-6, doi: 10.1109/OCEANSCennai45887.2022.9775418.

Wang K.; Yang P.; Yu G.; Yang C.; Zhu L. (2020). 3D numerical modelling of tailings dam breach run out flow over complex terrain: A multidisciplinary procedure *Water*, 12 (9), p. 2538



Wang Z.-f.; Yu Y.-f.; Wang J.; Zhang J.-q.; Zhu H.-l.; Li P.; Xu L.; Jiang H.-n.; Sui Q.-m.; Jia L. (2022). Convolutional neural-network-based automatic dam-surface seepage defect identification from thermograms collected from UAV-mounted thermal imaging camera Constr. Build. Mater., 323, Article 126416.

Wang, Cuizhen, Grayson Morgan, and Michael E. Hodgson. (2021). sUAS for 3D Tree Surveying: Comparative Experiments on a Closed-Canopy Earthen Dam. *Forests* 12, no. 6: 659. <https://doi.org/10.3390/f12060659>

Yin H.; Tan C.; Zhang W.; Cao C.; Xu X.; Wang J.; Chen J. (2023). Rapid compaction monitoring and quality control of embankment dam construction based on UAV photogrammetry technology: A case study. *Remote Sens.* 15 (4), p. 1083.

Yu, Shu; Zhang, Qiang; Chen, Zuyu; Hao, Jianwei; Wang, Lin; Li, Peng; Zhong, Qiming. (2021). Study of the Sheyuegou dam breach – Experience with the post-failure investigation and back analysis, *Engineering Failure Analysis*, Volume 125, 2021, 105441, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105441>.

Zhao, S.; Kang, F.; Li, J.; Ma, C. (2021). Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. *Autom. Constr.* 130, 103832.  
Zhu, Yantao; Hongwu, Tang. (2023). Automatic Damage Detection and Diagnosis for Hydraulic Structures Using Drones and Artificial Intelligence Techniques. *Remote Sensing* 15, no. 3: 615. <https://doi.org/10.3390/rs15030615>