

VESTÍGIOS – Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica

Volume 11 | Número 1 | Janeiro – Junho 2017

ISSN 1981-5875

ISSN (online) 2316-9699

**MAPEANDO EM PROFUNDIDADE:  
A INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DIGITAIS PARA A PESQUISA  
ARQUEOLÓGICA DE SÍTIOS DE NAUFRÁGIOS HISTÓRICOS**

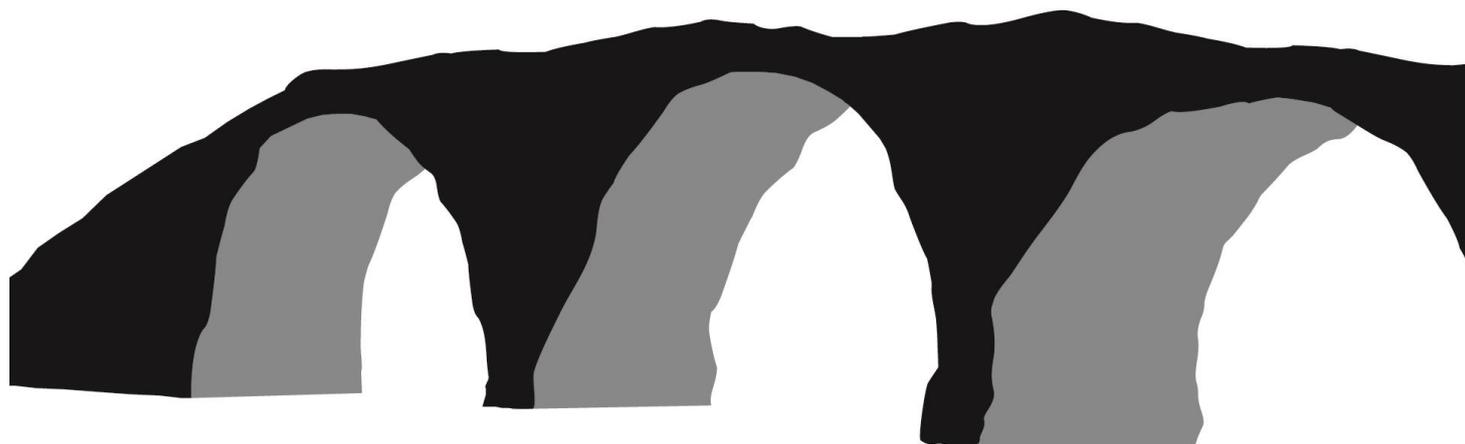
**MAPPING AT DEPTH:  
INTEGRATING DIGITAL TECHNIQUES FOR THE ARCHAEOLOGICAL  
INVESTIGATION OF HISTORICAL SHIPWRECKS**

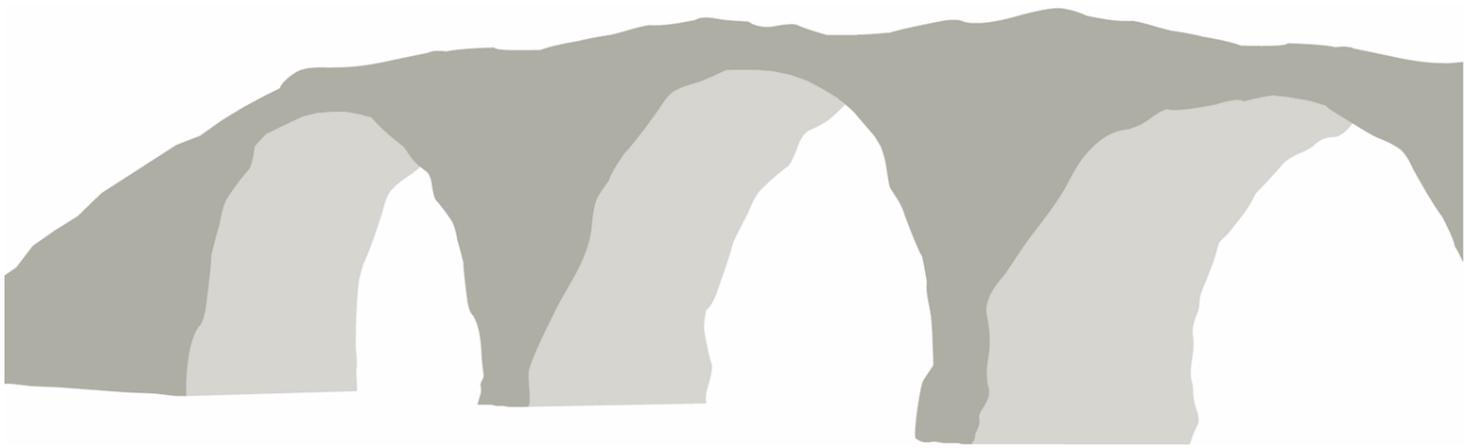
Rodrigo Torres

Kotaro Yamafune

Filipe Castro

Samila Ferreira





*Data de recebimento: 15/03/2017.*

*Data de aceite: 04/05/2017.*

**MAPEANDO EM PROFUNDIDADE:  
A INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DIGITAIS PARA A PESQUISA  
ARQUEOLÓGICA DE SÍTIOS DE NAUFRÁGIOS HISTÓRICOS**

**MAPPING AT DEPTH:  
INTEGRATING DIGITAL TECHNIQUES FOR THE ARCHAEOLOGICAL  
INVESTIGATION OF HISTORICAL SHIPWRECKS**

Rodrigo Torres<sup>1</sup>

Kotaro Yamafune<sup>2</sup>

Filipe Castro<sup>3</sup>

Samila Ferreira<sup>4</sup>

---

RESUMO

Este artigo aborda as experiências dos autores com a integração de ferramentas digitais à pesquisa e interpretação de sítios arqueológicos de naufrágios históricos. Para isso apresentamos um fluxo de trabalho que tem como base o uso da fotogrametria para a criação de modelos digitais tridimensionais em escala real de sítios e artefatos, que se articula nas diversas etapas metodológicas com vistas a interpretação dos sítios e a reconstrução arqueológica dos navios estudados. Os resultados são discutidos em termos do impacto da virtualização do dado arqueológico na prática acadêmica, particularmente nos aspectos de coleta, armazenamento, análise, interpretação e disseminação do conhecimento.

**Palavras-chave:** Arqueologia Náutica, naufrágios, fotogrametria, modelos digitais tridimensionais.

---

<sup>1</sup> Programa de Arqueología Subacuática. Centro Universitario Regional del Este – CURE/UdelaR, Calle Tacuarembó entre Av. Artigas y Aparicio Saravia, oficina 146. Maldonado, Uruguay. CEP: 20.000. Email: arqueonau@outlook.com.

<sup>2</sup> A.P.P.A.R.A.T.U.S. LLC. 186 Okanari, Yonago-City, Tottori-Prefecture, Japão. CEP 689-3513. Email: koutarou\_yamafune\_0321@yahoo.co.jp.

<sup>3</sup> Ship Reconstruction Laboratory. Texas A&M University. Anthropology Building 105, College Station, Texas, EUA. CEP 77845. Email: fvcastr@gmail.com

<sup>4</sup> Programa de Conservación Arqueológica. Centro Universitario Regional del Este – CURE/UdelaR, Calle Tacuarembó entre Av. Artigas y Aparicio Saravia. Maldonado, Uruguay. CEP: 20.000. Email: samilapf@yahoo.com.br.

## RESUMEN

Este artículo discute las experiencias de los autores con la integración de nuevas herramientas digitales en la investigación e interpretación de sitios arqueológicos de naufragios históricos. Para eso presentamos un flujo de trabajo que tiene como base el uso de la fotogrametría hacia la creación de modelos digitales tridimensionales en escala real de sitios e artefactos, que se articula en las diversas etapas metodológicas con vistas a la interpretación de los sitios y reconstrucción arqueológica de los buques estudiados. Los resultados son discutidos en términos del impacto de la virtualización del dato arqueológico en la práctica académica, particularmente en los aspectos de coleta, almacenamiento, análisis, interpretación y difusión del conocimiento.

**Palabras clave:** Arqueología Náutica, naufragios, fotogrametría, modelos digitales tridimensionales.

## ABSTRACT

This paper aims at discussing the author's experiences with the integration of novel digital tools for researching and interpreting historical shipwrecks in archaeological contexts. We thus present a workflow based on photogrammetric techniques for the creation of scaled tridimensional models of sites and artifacts, which articulate various methodological steps towards site interpretation and ship reconstruction. The results are discussed in terms of the impact of the virtualization of archaeological data on the academic practices, particularly on the aspects of data collection, storage, analysis, interpretation and knowledge dissemination.

**Keywords:** Nautical Archaeology, shipwrecks, photogrammetry, tridimensional models.

## INTRODUÇÃO

A escavação arqueológica é uma atividade potencialmente destrutiva. No curso de um estudo interventivo, os arqueólogos perturbam irreversivelmente os sítios escavados, tornando a documentação e a divulgação dos trabalhos uma responsabilidade ética e profissional fundamental. Como observou, no princípio do século XX, o egiptologista britânico Flinders Petrie em *Methods and Aims in Archaeology*:

A documentação é a linha divisória absoluta entre o saque e o trabalho científico, entre um traficante e um estudioso. [...] O crime imperdoável da Arqueologia é destruir as evidências que nunca poderão ser recuperadas — e cada descoberta de fato destrói as evidências, a menos que seja inteligentemente documentada (Petrie, 1904: 48) [tradução nossa].

Não obstante, ainda hoje, no século XXI, somente uma pequena parte dos sítios de naufrágio escavados são detalhadamente publicados e amplamente divulgados, levando na maior parte das vezes décadas para a saída a luz das primeiras publicações (Boardman, 2009: 109; Bass, 2011). Essa prática dificulta a circulação de informações e retarda o esforço coletivo de pesquisa, prejudicando a construção de interpretações alternativas e, em última instância, o avanço do conhecimento em uma área de investigação ainda relativamente recente e restrita.

A forma como os computadores e a internet evoluíram nas últimas duas décadas apresenta o potencial de mudança neste quadro, ao propiciar maneiras mais ágeis e fluidas de produção e compartilhamento de informações, além de promover amplas discussões, intelectuais e populares, sobre o nosso passado comum. Caminhando para o final da segunda década do século XXI, percebemos que a prática arqueológica ainda não internalizou ativamente o novo cenário cibernético, de modo que este potencial não se apresenta plenamente realizado no seio da cultura acadêmica.

Este artigo aborda, portanto, as experiências dos autores com a integração de ferramentas digitais à pesquisa e interpretação de sítios arqueológicos de naufrágios históricos. Para isso, apresentamos um fluxo de trabalho que tem como base o uso da fotogrametria para a criação de modelos digitais tridimensionais em escala real de sítios e artefatos, e que se articula nas diversas etapas metodológicas com vistas à interpretação dos sítios e a reconstrução arqueológica de navios. Os resultados são discutidos em termos do impacto da virtualização do dado arqueológico na prática da disciplina, particularmente nos aspectos de coleta, armazenamento, análise, interpretação e disseminação do conhecimento.

## COMPUTADORES, FOTOGRAMETRIA E ARQUEOLOGIA SUBAQUÁTICA

A Arqueologia praticada com auxílio do mergulho autônomo apresenta uma série de desafios particulares. Considerações de ordem física, fisiológica e psicológica, tais como suprimento limitado de ar, visibilidade e temperatura da água, problemas cognitivos e de comunicação, efeitos hiperbáricos, entre outros, reduzem o tempo de trabalho embaixo d'água, ao passo que afetam potencialmente a destreza e precisão dos levantamentos necessários à documentação arqueológica (Rule, 1995: 51; Bowens, 2009: 40-

42). Essas limitações intrínsecas à Arqueologia Subaquática têm levado os arqueólogos a constantemente buscarem o emprego de técnicas de mapeamento mais eficientes e precisas, como a fotogrametria, posicionando a Arqueologia Subaquática na fronteira em termos do desenvolvimento de estratégias inovadoras de documentação arqueológica.

Desde o seu aparecimento, no século XIX, a Fotografia tem sido uma das melhores companhias do arqueólogo. As primeiras formas de estereo-fotografia apareceram logo em seguida, como uma tecnologia promissora fornecendo informações tridimensionais para aplicações em Topografia e Cartografia. Na Arqueologia de sítios de naufrágio, a fotogrametria foi experimentada pela primeira vez em escavações subaquáticas nas décadas de 1960 e 70, mais precisamente durante os trabalhos conduzidos pelo arqueólogo americano George Bass e o *Institute of Nautical Archaeology* em Yassiada, Turquia (Bass, 1966; Bass & Rosencrantz, 1973; Rosencrantz, 1975).

Diferentes métodos e técnicas foram testados nesses trabalhos pioneiros, envolvendo o uso de câmeras 35 mm sincronizadas em caixas estanques e fixadas ao longo de barras metálicas para tomada de fotografias sobrepostas — técnica conhecida como estereofotogrametria. Na esteira desses primeiros experimentos, o emprego da fotogrametria para o mapeamento subaquático foi crescendo de forma mais ou menos regular nas décadas seguintes, no curso do desenvolvimento da Arqueologia Subaquática no Mediterrâneo e em outras partes do mundo (Ciani *et al.*, 1971; Baker & Green, 1976; Faig, 1979; Hoehle, 1971; Pollio, 1971; Tchernia *et al.*, 1978).

Apesar disso, antes do aprimoramento da tecnologia digital, a fotogrametria manteve-se como uma técnica extremamente especializada, que requeria a participação de expertos técnicos e a disponibilidade de equipamentos dedicados, prevenindo a generalização da técnica no seio da Arqueologia acadêmica (Van Damme, 2015). Com a introdução e disseminação das câmeras digitais, de computadores e programas mais velozes e potentes, entretanto, a fotogrametria digital está se tornado agora rotina nos levantamentos arqueológicos, e, a cada ano, novas escavações subaquáticas incorporam a fotogrametria em variadas estratégias de investigação (Drap & Long, 2001; Green *et al.* 2002; Skarlatos & Rova, 2010; Diamanti *et al.*, 2011; Mahon *et al.*, 2011; Drap, 2012; Henderson, 2013; Zhukovsky *et al.*, 2013; McCarthy & Benjamin, 2014; Yamafune *et al.*, 2016; para citar alguns trabalhos). Neste artigo, referimo-nos à fotogrametria digital como um conjunto de técnicas computacionais aplicadas à reconstrução de geometrias e referências espaciais, produzida a partir do processamento de fotografias tomadas de diferentes ângulos, permitindo a manipulação em escala real de artefatos e sítios arqueológicos em ambientes virtuais tridimensionais.

#### A ARQUEOLOGIA NÁUTICA E O NAVIO COMO ARTEFATO

Um dos objetivos da investigação de sítios arqueológicos de naufrágios é a reconstrução das formas, técnicas e tradições construtivas das embarcações estudadas. O casco de qualquer embarcação é constituído por uma geometria complexa que pode, entretanto, ser definida por um certo número de curvas simples, cuja reconstrução é relevante para a história da tecnologia da construção naval. Ainda que em contextos arqueológicos fragmentários, a existência de porções articuladas do casco das embarcações garante-nos um valioso elemento de coerência interpretativa (Steffy, 1990, 1996).

Informações sobre as matérias-primas utilizadas, técnicas construtivas, arranjos estruturais, forma do casco, aparelho, mastreação e velame podem nos fornecer uma via de acesso direta à cultura material e à tecnologia náutica contemporâneas ao acidente, possibilitando a utilização desse registro arqueológico em problemáticas locais, inter-regionais e globais de pesquisa. É digno de nota, entretanto, a ausência da exploração de temas marítimos e náuticos nos trabalhos de Arqueologia Histórica (Dellino-Musgrave, 2006; Flatman & Staniforth, 2006).

Em sentido amplo, o navio pode ser concebido como um meio de circulação. Circulação de mercadorias, de informações e de pessoas que atuaram como agentes históricos privilegiados no processo de constituição da sociedade moderna e na difusão da nova ordem associada à expansão capitalista (Torres & Farher, 2016). Entretanto, ao passo em que concentrava boa parte do investimento tecnológico dos projetos da expansão capitalista moderna, o navio também carregava, em seus porões e sobre o convés, estruturas sociais e culturais complexas.

O sociólogo inglês Paul Gilroy, ao analisar o conceito da diáspora sob a especificidade geopolítica e geocultural do Atlântico Negro, sugere que o oceano seja tomado como uma unidade de análise histórica e cultural privilegiada nas discussões sobre o mundo moderno. Nesse ambiente, segundo Gilroy, os navios concentram a imagem de um sistema vivo, microcultural e micropolítico em movimento, devendo ser pensados como unidades culturais e políticas em lugar de incorporações abstratas do comércio marítimo: “Eles eram algo mais — um meio de conduzir a dissensão política e, talvez, um modo de produção cultural distinto” (Gilroy, 2001: 38 e 60).

Nesse sentido, as embarcações concentram em sua atividade e simbolismo a ação e a experiência humana do espaço moderno por excelência. Sua atividade articula os lugares e completa a paisagem, delimitando o espaço privilegiado de circulação da cultura marítima, ao mesmo tempo local e global. A unidade paradoxal de Marshal Berman (1988: 15). Nesse ambiente é que viveram e trabalharam os personagens históricos que tentamos compreender, e, como observou Michel Foucault, buscando explicar o seu conceito de heterotopia:

[...] o navio é um espaço flutuante, um lugar desterrado, que vive por seus próprios meios, autocontido e, ao mesmo tempo, expansível sobre os oceanos sem fronteiras, seguindo de porto em porto, de turno a turno, de bordel em bordel, até as colônias em busca dos tesouros mais preciosos [...] percebe-se por que, para nossa civilização, do século XVI até os dias atuais, o navio tem sido ao mesmo tempo não somente o maior instrumento de desenvolvimento econômico, mas o maior reservatório de imaginação. O navio à vela é a heterotopia por excelência. Em civilizações sem navios os sonhos se desvanecem, a espionagem toma o lugar da aventura, e a polícia o dos corsários [tradução nossa] (Foucault, 1998: 184-185).

Já foi dito que o navio, como artefato tecnológico, pode ser compreendido como a expressão física de um conceito abstrato (Hocker, 2005: 4). Enquanto o arqueólogo documenta e trabalha sobre os vestígios físicos das embarcações, remanescentes em diferentes contextos arqueológicos, busca compreender os contextos históricos, culturais, sociais e econômicos por trás das mentalidades que

conceberam sua construção e uso. Essa perspectiva do navio como artefato abre uma série de possibilidades epistemológicas com respeito aos temas e metodologias da Arqueologia Histórica.

As investigações arqueológicas de embarcações e sítios de naufrágio sinalizam com o potencial de desenvolvimento de uma Arqueologia centrada na pesquisa e interpretação de embarcações naufragadas. Entretanto, existe hoje no mundo um número limitado de arqueólogos com treinamento e experiência na pesquisa e reconstrução de navios em contextos arqueológicos. Além disso, uma quantidade ínfima de catálogos de peças e reconstruções arqueológicas de navios foi publicada, sem contar a ameaça ostensiva da caça ao tesouro que tem destruído sítios de naufrágio em todo o mundo desde a invenção do equipamento de mergulho autônomo nas décadas de 1950/60. Faz-se necessário, portanto, dada a especificidade do tema, o desenvolvimento de linhas de pesquisa em Arqueologia Marítima Histórica e Náutica na América Latina, capazes de formalizar o vocabulário arqueológico, as metodologias e as técnicas necessárias ao estudo crítico de navios históricos em contextos arqueológicos.

#### UMA PROPOSTA DE FLUXO DE TRABALHO

O eixo central da metodologia apresentada neste artigo é a integração das diferentes etapas da escavação de sítios de naufrágios em um fluxo de trabalho voltado à documentação, análise e compartilhamento de informações arqueológicas, tomando como ponto de partida a criação de modelos digitais tridimensionais fotogramétricos em escala real (1:1). Dentro do fluxo de trabalho, os modelos tridimensionais se articulam com a coleta de dados históricos e arqueológicos para a constituição de uma base de dados que visa subsidiar a interpretação e a tomada de decisões praticamente em tempo real durante os projetos, contando com o mínimo de infraestrutura cibernética. Foi tomado o cuidado de refinar as etapas de aquisição e processamento das informações, de modo que os métodos e técnicas apresentados aqui possam ser adaptados também para uso em projetos não intrusivos ou de Arqueologia Preventiva.

No decorrer deste artigo, descreveremos brevemente as etapas e procedimentos indicados no diagrama da Figura 1: fotografia subaquática; rede de pontos de controle; construção do modelo tridimensional fotogramétrico; extração de ortofotos, planos do sítio e desenhos de artefatos; coleta de dados; sistemas de informações geográficas; análise do sítio; reconstrução arqueológica das embarcações e disseminação dos resultados. Muito além dos incrementos técnicos em termos de acurácia que possam somar ao mapeamento arqueológico, no entanto, os desenvolvimentos recentes da informática e da cibernética criaram oportunidades que extrapolam as vantagens da produção de dados mais precisos, inserindo a etapa de documentação arqueológica em um contexto potencialmente dinâmico e fluído de produção e circulação do conhecimento, que buscamos integrar neste trabalho (Berggren *et al.*, 2015).



Figura 1: Fluxograma com as diversas etapas propostas para integração de técnicas digitais para documentação e interpretação de sítios de naufrágios históricos (Modificado de Yamafune et al., 2016).

A ideia de fluxo de trabalho não é inteiramente nova, e corresponde essencialmente ao que denominamos como “material e métodos” nas publicações convencionais. Entretanto, devido às especificidades do manuseio de dados e arquivos digitais, os autores sugerem que o fluxo de trabalho digital dos projetos seja explicitado como um subitem dentro das metodologias, podendo conter, preferencialmente de forma descritiva e gráfica (fluxograma), o encadeamento das diversas etapas, formatos de arquivos,

estrutura de metadados, programas e técnicas digitais utilizadas no projeto em questão. Um bom guia para a compreensão das tecnicidades do manuseio de dados e técnicas digitais em Arqueologia pode ser consultado em <http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/> (acessado em: 02/06/2017).

### Fotografia subaquática

O primeiro passo para a criação de modelos tridimensionais fotogramétricos é tirar boas fotos. Nesse sentido, a escolha de um conjunto adequado de câmara, lente e luzes artificiais é essencial para garantir imagens de boa qualidade segundo os requerimentos da fotogrametria digital subaquática. Embora haja uma gama de soluções possíveis, a regra de ouro da Fotografia Subaquática é aproximar-se o máximo possível do objeto, minimizando assim os efeitos negativos das distorções ópticas e das interferências causadas por partículas em suspensão (*backscattering*) (Zhukovsky *et al.*, 2013).

Outro ponto crucial para a qualidade das reconstruções fotogramétricas é a sobreposição entre imagens. Tipicamente, segundo o requerimento dos programas utilizados, é necessária uma sobreposição de 60 a 80% entre imagens consecutivas, de modo que cada detalhe da cena ou objeto a ser reconstruído apareça em pelos menos duas fotografias. Assim, um conjunto de imagens tipicamente utilizado nos projetos de reconstrução fotogramétrica poderá conter centenas ou mesmo milhares de fotografias, tomadas em ângulos oblíquos e ortogonais. Por isso, é preferível o uso de lentes grande angulares para a fotogrametria subaquática, que permitam ao fotógrafo aproximar-se bastante do alvo, e ainda assim manter uma área de cobertura que otimize a eficiência dos levantamentos (Figura 2).

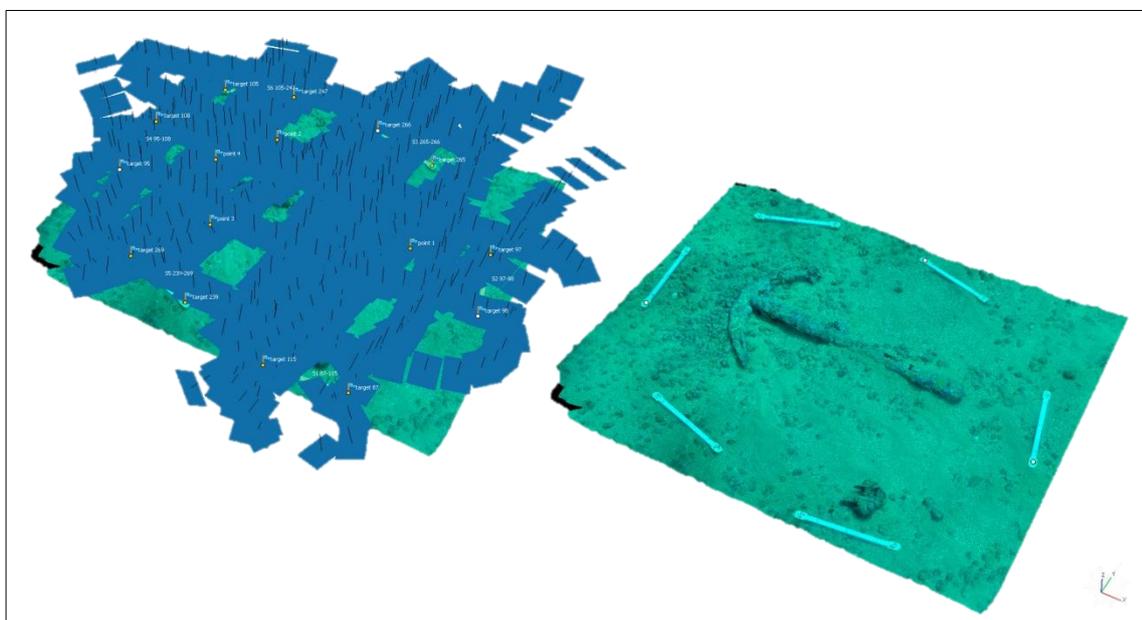


Figura 2: Modelo tridimensional de uma âncora do século XVII localizada a 23 m. de profundidade no sítio do navio de guerra holandês Utrecht, naufragado na Baía de Todos os Santos em 1648. Os retângulos azuis representam as posições da câmera durante o levantamento (Autoria: Rodrigo Torres).

Por exemplo, levando-se em consideração o triângulo da Figura 3, se o arqueólogo-mergulhador planeja nadar a 1 m. (d) acima do sítio, utilizando uma lente com distância focal de 50 mm. (f) e uma câmara com

um sensor de dimensões 23 mm. ( $S_x$ ) por 15 mm. ( $S_y$ ), a cobertura em cada clique será correspondente a um retângulo de 0,46 m. ( $C_x$ ) por 0,30 m. ( $C_y$ ). Já, por outro lado, se utilizada uma lente grande angular de 11 mm., com o mesmo sensor da câmera e mesma distância do objeto, a cobertura aumenta para 2,1 m. ( $C_x$ ) por 1,36 m. ( $C_y$ ), permitindo assim levantamentos mais eficientes.

Para a obtenção de imagens mais nítidas, entretanto, é comum a adaptação de um domo hemisférico na caixa estanque, posicionando-o em frente a lentes grandes angulares. Além disso, a compensação da absorção seletiva de cores e os baixos níveis de iluminação natural que se verificam com o aumento da profundidade requerem a utilização de iluminação artificial, fixada em longos braços articulados, criando assim uma disposição melhor e mais flexível para a iluminação (Figura 4).

Obviamente, mesmo que as câmeras modernas permitam uma série de configurações e modos automáticos, os desafios óticos e de iluminação encontrados nos diversos ambientes subaquáticos em que trabalhamos podem ser melhor superados com um controle manual da exposição (velocidade, abertura, ISO e sincronização dos flashes), o que pode ser um pouco complicado ao arqueólogo iniciante. Apesar disso, ainda que um domínio em nível intermediário das técnicas de fotografia subaquática seja desejável, há alternativas viáveis e que requerem menos conhecimentos técnicos, como a fotogrametria extraída de vídeo, uma estratégia que discutiremos com maior detalhe em outro tópico.

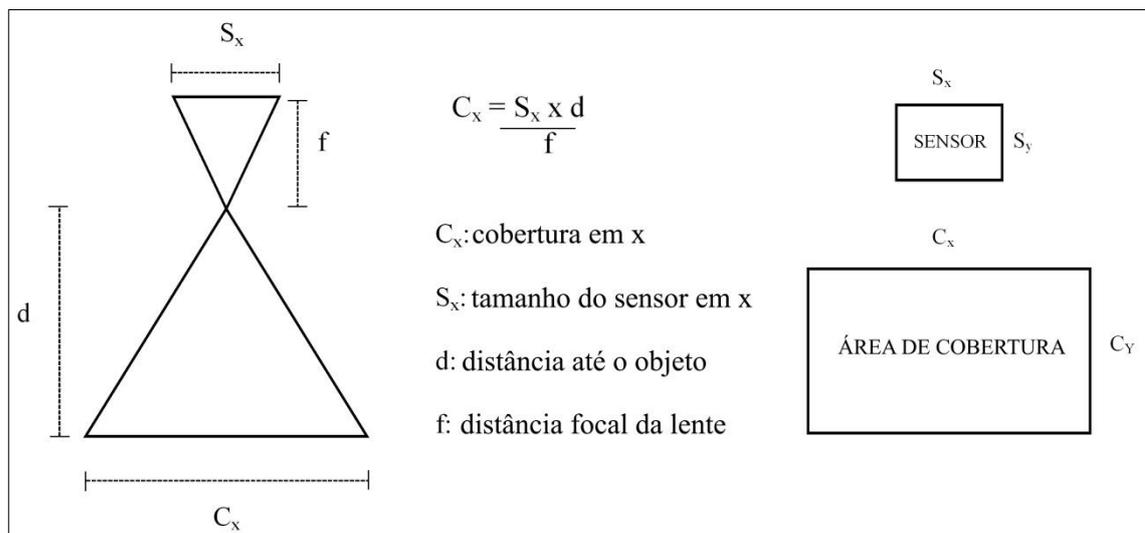


Figura 3: Triângulo da fotografia, que nos permite calcular a área de cobertura de cada fotografia em função do tipo de câmera (tamanho do sensor), lente (distância focal) e distância do mergulhador ao objeto a ser representado (Modificado de Yamafune et al., 2016: 9).



Figura 4: Conjunto completo de câmera, lente, domo hemisférico, caixa estanque e luzes artificiais similar ao utilizado pelos autores em diversos projetos subaquáticos (Fonte: [www.ikelite.com](http://www.ikelite.com)).

### Rede de pontos de controle

Um aspecto essencial que diferencia um simples modelo tridimensional de um modelo utilizado como dado arqueológico é a atribuição de escala e referência espacial, que permitem o estabelecimento de relações contextuais para os vestígios arqueológicos estudados. Nesse sentido, é necessário que a estratégia de documentação esteja apoiada em algum sistema de coordenadas, seja ele local ou georreferenciado. No caso dos sítios de naufrágio em terra, como os encalhes costeiros, por exemplo, é uso corrente o emprego de estações totais e GPS de alta precisão para o estabelecimento das redes de controle. No caso de escavações subaquáticas, entretanto, problemas associados à propagação de certas frequências de ondas eletromagnéticas em meio aquoso suscitam o uso de outras técnicas, acústicas e óticas. Neste artigo, faremos referência à nossa experiência na criação de redes de coordenadas locais em contextos subaquáticos por arqueólogos-mergulhadores, visto que a utilização de estações totais e GPS em escavações terrestres já está bem estabelecida na prática arqueológica.

Considerando-se as características de escavações conduzidas por arqueólogos-mergulhadores, notadamente a extensão dos sítios, a profundidade e os requerimentos de precisão e acurácia dos levantamentos, tornou-se prática corrente em Arqueologia Subaquática a utilização de uma técnica conhecida como Levantamento por Medidas Diretas<sup>5</sup> (DSM) (Atkinson *et al.*, 1988; Rule, 1989; Holt, 2010). Trata-se, resumidamente, de uma forma de trileração construída a partir de medidas tomadas com uma fita métrica e um profundímetro digital, diretamente entre pontos no sítio arqueológico. As medidas de distância e os valores de profundidade são processados computacionalmente, de maneira a produzir um ajuste estatístico da rede de controle, e possibilitar a extração de coordenadas tridimensionais e a estimação do erro de posicionamento de um determinado levantamento. Essa técnica tem sido utilizada pelos autores em diversos projetos, associada a distintas estratégias de documentação arqueológica. A seguir, descreveremos os procedimentos gerais de implantação de uma rede local DSM em sítios de naufrágio, e sua integração com o levantamento fotogramétrico.

A infraestrutura da rede de controle é tipicamente composta por oito pontos de controle constituídos de

<sup>5</sup> Traduzido do inglês *Direct Survey Measurements*.

tubos metálicos com cerca de 1,5 m. de altura, posicionados em estações convenientes ao redor do sítio, e dois outros pontos internos, fixados em locais mais elevados na estrutura principal do sítio. Esses 10 pontos de controle compõem a rede de controle primária e são etiquetados de D1 a D10, onde D1 é estabelecido como a origem de nosso sistema local de coordenadas ( $x=0$ ,  $y=0$ ,  $z=0$ ). A direção D1-D5, tomada como linha-base do levantamento, estende-se no sentido da maior largura do sítio (Figura 5).

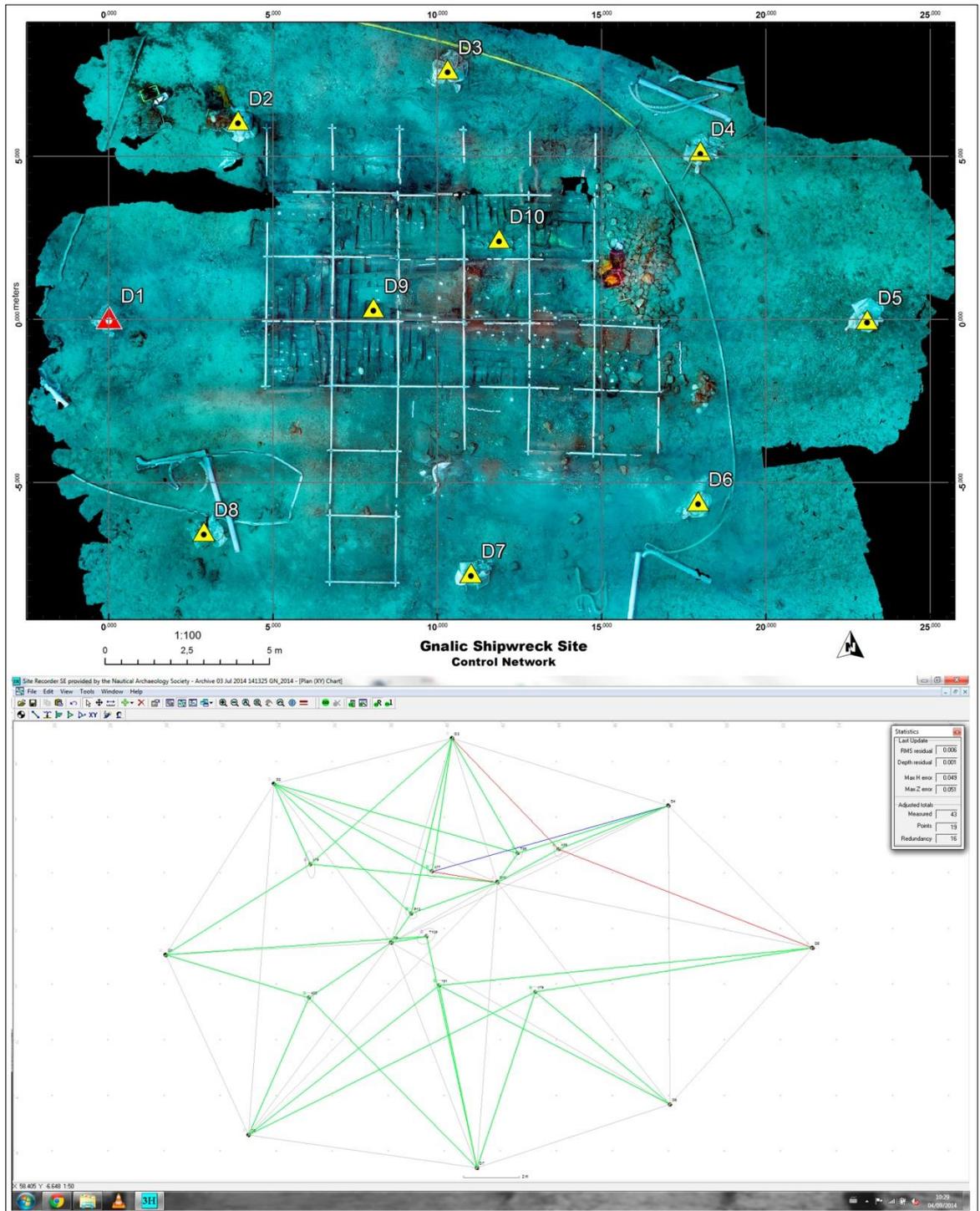


Figura 5: Acima, posição dos pontos da rede primária de controle no sítio do navio Gnalic (1583), Croácia. Abaixo, tela de trabalho do programa 3H Site Recorder, mostrando o ajuste da rede secundária de controle (Autoria: Rodrigo Torres).

É recomendado tomar a orientação da linha-base com uma bússola magnética, para orientação do sítio após o processamento. A orientação magnética pode ser facilmente corrigida para Norte verdadeiro, adicionando ou subtraindo a declinação magnética para o local (latitude e longitude) e dia do levantamento, o que pode ser consultado em <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>.

Uma vez instalada a infraestrutura da rede DSM, as distâncias são medidas diretamente entre todos os pontos de controle e as profundidades de cada ponto tomadas com o profundímetro digital. No total são necessárias cerca de 30 medições de distância e 10 medições de profundidade para estabelecer uma rede em um sítio com extensão de 400 m<sup>2</sup>. Os dados são passados para uma tabela no computador e conferidos para que não haja nenhuma discrepância nas medidas, que, nesse caso, precisariam ser refeitas. A partir daí, os dados são ingressados no programa *3H Site Recorder* para obtenção do ajuste estatístico, que é alcançado por meio de um processo iterativo de ajuste de mínimos quadrados. Como observou Holt (2003), a aquisição de medidas diretas e a manipulação do *software* são muito simples, mas podem gerar erros indesejáveis quando não são devidamente manuseadas. Recomenda-se o uso de mergulhadores experientes, ou treinamento prévio em seco, ao estabelecer a rede primária.

Uma vez que o ajuste estatístico para a rede primária foi considerado satisfatório, isto é, o erro residual (RMS)<sup>6</sup> foi considerado adequado dentro dos requisitos do levantamento, exporta-se um relatório a partir do programa que, entre outras informações, contém as coordenadas x, y, z ajustadas dos pontos de controle da rede.

Nessa etapa, inicia-se a integração com o levantamento fotogramétrico. Estabelecida a rede primária, instalamos mais seis pontos de controle internos ao sítio, como uma rede secundária, que deverá ser integrada por meio de medidas diretas a pelo menos quatro outros pontos da rede primária, e reprocessados. Os pontos da rede secundária, entretanto, são compostos por alvos codificados em 12 bits que podem ser exportados diretamente do programa *Agisoft PhotoScan*, impressos e plastificados para uso embaixo d'água. A vantagem é que as coordenadas desses pontos, estabelecidas na integração com a rede primária, podem ser reconhecidas automaticamente pelo programa de processamento fotogramétrico.

A segunda vantagem da implantação da rede secundária de pontos de controle é a atribuição de uma referência espacial e escala real aos modelos tridimensionais criados durante a escavação. Outro ponto importante é que, uma vez incorporadas as coordenadas aos arquivos, os modelos tridimensionais podem ser exportados para outros programas de computação gráfica e SIG, mantendo-se a consistência da referência espacial através das diferentes aplicações do fluxo de trabalho. Além disso, a cada nuvem densa de pontos criada pelo processamento fotogramétrico, atribui-se coordenadas a dezenas de milhões de pontos sobre o sítio, permitindo o controle horizontal e vertical da escavação através da fotogrametria de precisão.

### **Modelos tridimensionais fotogramétricos**

Atualmente há uma variedade de programas computacionais para o processamento de modelos fotogramétricos. Entre eles, o *EOS Photomodeler*, *Agisoft PhotoScan* e *Reality Capture* têm sido utilizados com

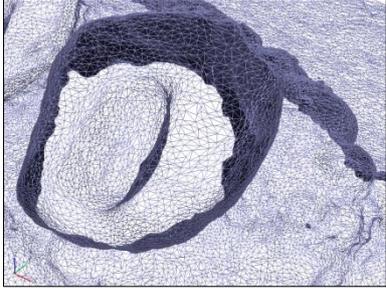
---

<sup>6</sup> O erro residual é a diferença entre uma distância medida e o valor do melhor ajuste calculado após o tratamento estatístico, e serve como medida da qualidade de um levantamento. Tipicamente, um levantamento feito por arqueólogos-mergulhadores treinados apresenta um RMS da ordem de +/- 0,005 m.

maior frequência nos projetos de Arqueologia Subaquática. Independentemente do programa utilizado, entretanto, o processamento dos modelos envolve quatro etapas básicas, que descreveremos brevemente a seguir.

Após a tomada das imagens e a importação para o programa utilizado, o primeiro passo é o *alinhamento*. Nessa etapa, o programa busca pontos em comum nas diversas imagens baseando-se na correspondência de *pixels*, ao passo em que reconstrói a geometria do levantamento e a posição das câmeras durante a tomada das fotografias, resultando na formação de uma *nuvem esparsa de pontos*. Na etapa seguinte, o programa calcula a posição tridimensional e a profundidade de cada pixel correspondido do conjunto de imagens, resultando em uma *nuvem densa de pontos*. A nuvem densa é tipicamente constituída por dezenas de milhões de pontos com coordenadas tridimensionais (x, y, z), informações de cor (valor RGB) e de reflexão da luz (normais), que representam detalhadamente a superfície externa do artefato ou sítio representado. Na próxima fase, o programa toma como ponto de partida a nuvem densa para construir uma *malha de polígonos*, produzindo assim uma superfície contínua cujas faces poderão ser *texturizadas* em uma quarta etapa, a partir do remapeamento das fotografias originais sobre a superfície tridimensional do objeto ou sítio (Tabela 1).

Tabela 1: Etapas básicas do processamento fotogramétrico e seus diferentes produtos.

ETAPA	PRODUTOS	MODELO
<b>ALINHAMENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ NUVEM ESPARSA DE PONTOS</li> <li>✓ POSICIONAMENTO DAS CÂMERAS</li> <li>✓ GEOMETRIA DO LEVANTAMENTO</li> </ul>	
<b>NUVEM DENSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MILHÕES DE PONTOS COM COORDENADAS XYZ</li> <li>✓ VALOR R,G,B DE CADA PONTO</li> <li>✓ NORMAIS DE CADA PONTO</li> </ul>	
<b>MALHA DE POLÍGONOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SUPERFÍCIE CONTÍNUA</li> <li>✓ IMPRESSÃO 3D</li> </ul>	

ETAPA	PRODUTOS	MODELO
<b>TEXTURIZAÇÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ REMAPEAMENTO DAS FOTOGRAFIAS SOBRE A MALHA DE POLÍGONOS</li><li>✓ MODELO COM ACABAMENTO FOTORREALISTA</li></ul>	

Ainda que o processamento ocorra de forma semiautomática e direta, os modelos produzidos em cada etapa podem ser melhorados utilizando-se procedimentos e técnicas específicas. Isso ocorre muitas vezes em articulação com outros programas dentro do fluxo de trabalho, cuja a complexidade foge ao escopo do presente artigo. Um tópico importante, entretanto, no sentido de facilitar o reconhecimento de pontos e geometrias durante as etapas do processamento, é a forma da tomada das imagens. Mesmo que não haja requerimentos estritos para a posição das fotografias, podendo ser oblíquas ou ortogonais, ou uma combinação de ambas, a ideia geral é que cada ponto que queremos representar no modelo deve aparecer em, pelo menos, duas fotografias, sendo que quanto maior o número de imagens melhor será a reconstrução de um determinado aspecto da cena, tanto no sentido estético como da acurácia do seu posicionamento<sup>7</sup>. Por isso a necessidade de grande sobreposição entre fotografias (aprox. 80%) e a tomada de um número maior de imagens em zonas onde a topografia é mais irregular, com concavidades e convexidades extremas. Deve-se ter em mente que, embora os procedimentos gerais indicados funcionem bem em variados cenários, cada projeto é diferente, sendo recomendável que os arqueólogos experimentem distintas configurações e determinem assim a melhor solução em cada caso.

### Fotogrametria a partir de vídeos

Buscando formas mais eficientes e descomplicadas para aquisição de imagens subaquáticas que pudessem ser executadas por qualquer arqueólogo-mergulhador durante um projeto de escavação, os autores têm experimentado o processamento de imagens extraídas a partir de vídeos tomados com câmeras portáteis tipo *GoPro*. O princípio básico é que os arquivos de vídeo são compostos por uma sequência de quadros tomados com uma determinada resolução, que são registrados pela câmera a uma taxa medida em quadros por segundo — qps (ou *frames per second*, em inglês). Assim, um vídeo capturado com uma resolução de 1080p<sup>8</sup> a 30 qps, por exemplo, produzirá quadros com uma resolução de 1920 x 1080 pixels, o que corresponde a uma imagem de aproximadamente 2,1 megapixels. Além disso, se considerarmos um arquivo com 3 minutos de vídeo (180 segundos), por exemplo, teremos um número impressionante de 5.400 imagens, potencialmente com 99,9% de sobreposição!

<sup>7</sup> O manual do *Agisoft PhotoScan* edição Profissional 1.3.0 traz maiores informações sobre os requerimentos para a tomada de imagens, entre outros pontos importantes (Agisoft LLC, 2017:7-9, disponível em [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_3\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf), acesso 29/05/2017).

<sup>8</sup> 1080p é a resolução de um vídeo *full HD*.

As vantagens dessa técnica são óbvias em termos de eficiência na aquisição das imagens e custo do equipamento. Além disso, a tomada de vídeos dispensa uma série de ajustes necessários quando estamos tirando fotografias embaixo d'água, permitindo ao arqueólogo-mergulhador concentrar-se em outros aspectos, como o controle da flutuabilidade, o plano de cobertura e o monitoramento do tempo e profundidade do perfil de mergulho. Essa técnica é ideal para levantamentos preliminares ou quando os modelos precisam ser processados rapidamente para subsidiar tomadas de decisão durante o trabalho de campo.

Há desvantagens, todavia, que necessitamos considerar quando da escolha entre técnicas alternativas. Devido à baixa resolução, os quadros extraídos dos vídeos contêm um número relativamente pequeno de pixels, o que pode ser um fator crítico em condições pouco ideais, como no caso de baixa visibilidade ou quando é necessária a produção de modelos com texturas de alta qualidade. Apesar disso, a experiência dos autores sugere que os modelos produzidos a partir de vídeos capturados com câmeras *GoPro* podem ser bastante precisos geometricamente e com boa fidelidade visual, capazes de representar detalhes finos das áreas representadas<sup>9</sup>.

### **Ortofotos**

Uma propriedade útil dos modelos tridimensionais é a possibilidade de, uma vez processado, exportar imagens bidimensionais de alta qualidade em escala real (1:1), projetadas ortogonalmente e sem distorção a partir de qualquer ângulo do sítio ou artefato modelado. As ortofotografias podem ser ainda dimensionadas e posicionadas precisamente para evidenciar, por exemplo, seções do navio ou sítio que se quer analisar. Neste fluxo de trabalho, as ortofotos são exportadas como mapa base para o Sistema de Informações Geográficas (SIG), e utilizadas para confecção de planos do sítio e desenhos empregados na elaboração do catálogo de peças da embarcação e artefatos (Figura 6). No caso de modelos processados com o *Agisoft PhotoScan*, dependendo do formato escolhido durante a exportação, a referência espacial das coordenadas do modelo pode ser incorporada diretamente ao arquivo da ortofoto, no caso de arquivos *.geoTIFF*, ou como um arquivo auxiliar tipo *world file* no caso de arquivos *.jpeg*. Esse é um recurso especialmente útil na produção de mapas base para SIG.

---

<sup>9</sup> Ver por exemplo este modelo produzido por um dos autores utilizando uma camera *GoPro Hero 4*: <https://skfb.ly/GUpU> (acesso em 30/05/2017).



Figura 6: Plano do sítio do naufrágio Gnalic (1583), confeccionado a partir de um ortomosaico produzido durante escavações na Croácia em 2014 (Torres et al., 2014).

### Coleta de informações e Bases de Dados

A coleta e organização das informações deve ser um aspecto central de qualquer escavação arqueológica. Com o aumento do uso, e dependência, de técnicas digitais nos projetos de Arqueologia, aumentou-se também vertiginosamente a quantidade de dados produzidos, os quais são armazenados, na maior parte das vezes, em mídias digitais, permitindo o acesso e o compartilhamento rápido das informações coletadas (Hill, 1994).

Os autores acreditam que a coleta de dados durante uma escavação não é um processo objetivo. Os arqueólogos interpretam e escolhem o que medir, fotografar, desenhar ou analisar com base em decisões informadas. Não é possível registrar tudo, coletar todas as amostras relevantes, registrar todas as medidas ou adivinhar quais detalhes serão relevantes para a interpretação do sítio. As tarefas de escavação, limpeza e identificação das partes de um navio no ambiente de escavação, particularmente subaquático, apresentam desafios intrínsecos, e o resultado final em termos de reconstrução arqueológica é, na melhor das hipóteses, uma boa aproximação da realidade observada. Consequentemente, é importante conhecer e entender o objeto que se está registrando.

Nos casos particulares em que o objetivo central da escavação é a interpretação por meio da reconstrução arqueológica do navio, há três grupos principais de informações a serem coletadas: artefatos, estruturas do casco e características construtivas. Os dois primeiros grupos são mais evidentes, e todos os croquis, desenhos, medições e fotografias devem ser armazenados acompanhados dos modelos digitais de referência. As características construtivas, entretanto, precisam ser deduzidas a partir da observação minuciosa dos restos preservados do casco, tais como associações, curvaturas, marcas de construção e

padrões de fixação das estruturas em partes específicas, além de outras informações como qualidade, tipo e idade das madeiras empregadas, estratégias de conversão e molde das árvores (Steffy, 1990; 1996).

Percebe-se que, a despeito da acurácia e fidedignidade dos modelos tridimensionais, sempre será requerido do arqueólogo certo grau de verificação, medições complementares, croquis e sondagens capazes de transformar os modelos digitais em dados arqueológicos através de um processo cognitivo. Quanto mais rico e iterativo esse processo, mais dados e informações são produzidas, que precisarão ser armazenados e disponibilizados para retroalimentação durante o projeto ou no futuro, possibilitando reinterpretações à luz de novas experiências e teorias. Neste fluxo de trabalho, as informações coletadas a respeito dos artefatos, estruturas do casco e características construtivas são associadas à base de dados do SIG, e somadas à digitalização das estruturas e artefatos sobre as ortofotos, são organizadas em camadas de informação armazenadas em arquivos vetoriais, *raster*, tabelas e textos.

Em trabalho recente com naufrágios situados na zona intermareal do litoral do Rio Grande do Sul, as ortofotos produzidas a partir dos modelos tridimensionais foram utilizadas como base para o detalhamento das estruturas durante a escavação (Torres, 2017). Na medida em que uma seção do casco era exposta, as fotografias eram tiradas e os modelos fotogramétricos parciais processados diariamente, colocados em escala e referenciados no sistema de coordenadas da escavação. As ortofotos produzidas alimentavam o SIG da escavação, permitindo a exportação de planos parciais do sítio na escala 1:10, que foram utilizados como gabarito para o detalhamento das estruturas pelos arqueólogos. Nesse caso, verificou-se que a combinação de técnicas digitais com métodos convencionais de registro reduziu enormemente o número de medições necessárias *in situ*, já que a maior parte podia ser retirada diretamente do modelo em escala, valorizando o trabalho dos arqueólogos investigadores no contexto da escavação (Figura 7). A impressão para uso subaquático também é possível, utilizando-se impressão a laser sobre película de poliéster tipo *Mylar*.

MAPEANDO EM PROFUNDIDADE:  
A INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DIGITAIS PARA A PESQUISA ARQUEOLÓGICA DE SÍTIOS DE NAUFRÁGIOS HISTÓRICOS



Figura 7: Acima, modelo tridimensional processado. Abaixo, utilização de ortofotos em escala 1:10 no contexto da escavação dos sítios dos naufrágios NAV Inédito e NAV Lagoa do Peixe, litoral do Rio Grande do Sul, Brasil (Torres, 2017).

## Seções e perfis do sítio

Outro produto importante como subsídio para a interpretação dos sítios e a reconstrução arqueológica de navios diz respeito às seções do casco e perfis do sítio. Perfis do sítio extraídos durante o processo de escavação podem esclarecer problemas estratigráficos, melhorando a compreensão dos processos de formação de sítio, enquanto seções do casco da embarcação permitem a recuperação de valiosas informações com respeito às curvaturas das madeiras, utilizadas na reconstrução das linhas do casco.

Uma vez processado o modelo tridimensional, ele pode ser exportado para outros programas especializados, como o *CloudCompare*, *Blender* e *Autodesk Maya*, permitindo ajustes e controles precisos para a extração de seções dos modelos ou nuvens de pontos. Movendo o plano de corte ao longo de um determinado eixo, o investigador pode controlar a extração de “fatias” delgadas, produzindo um resultado semelhante a uma tomografia computadorizada para obtenção de perfis do sítio.

## Linhas do casco

A reconstrução da forma do casco de um navio a partir do registro arqueológico é sempre uma suposição informada pela experiência empírica e pelo conhecimento teórico do investigador. A técnica estabelecida na disciplina permite a reconstrução de geometrias complexas a partir da extrapolação de um conjunto de curvas básicas, longitudinais e transversais, extraídas das formas preservadas nas madeiras encontradas no sítio. Baseando-se num conjunto de convenções, as reconstruções utilizam um espaço cartesiano para a representação de formas tridimensionais, a partir da projeção de superfícies curvas em três planos ortogonais: plano das balizas, plano do perfil e plano das linhas d’água (Steffy, 1982, 1989b; Castro & Fonseca, 2006; Evangelista, 2011).

Esse método de representar o casco de um navio foi desenvolvido no século XVII e é uma linguagem padrão, tanto na Arquitetura Naval quanto na Arqueologia Náutica. Novamente, a computação gráfica apresenta-se como uma ferramenta útil e promissora, permitindo não só a análise diretamente a partir da forma tridimensional como também a realização de cálculos automatizados das propriedades mecânicas e coeficientes hidrodinâmicos necessários à interpretação das qualidades náuticas da embarcação (Figura 8).

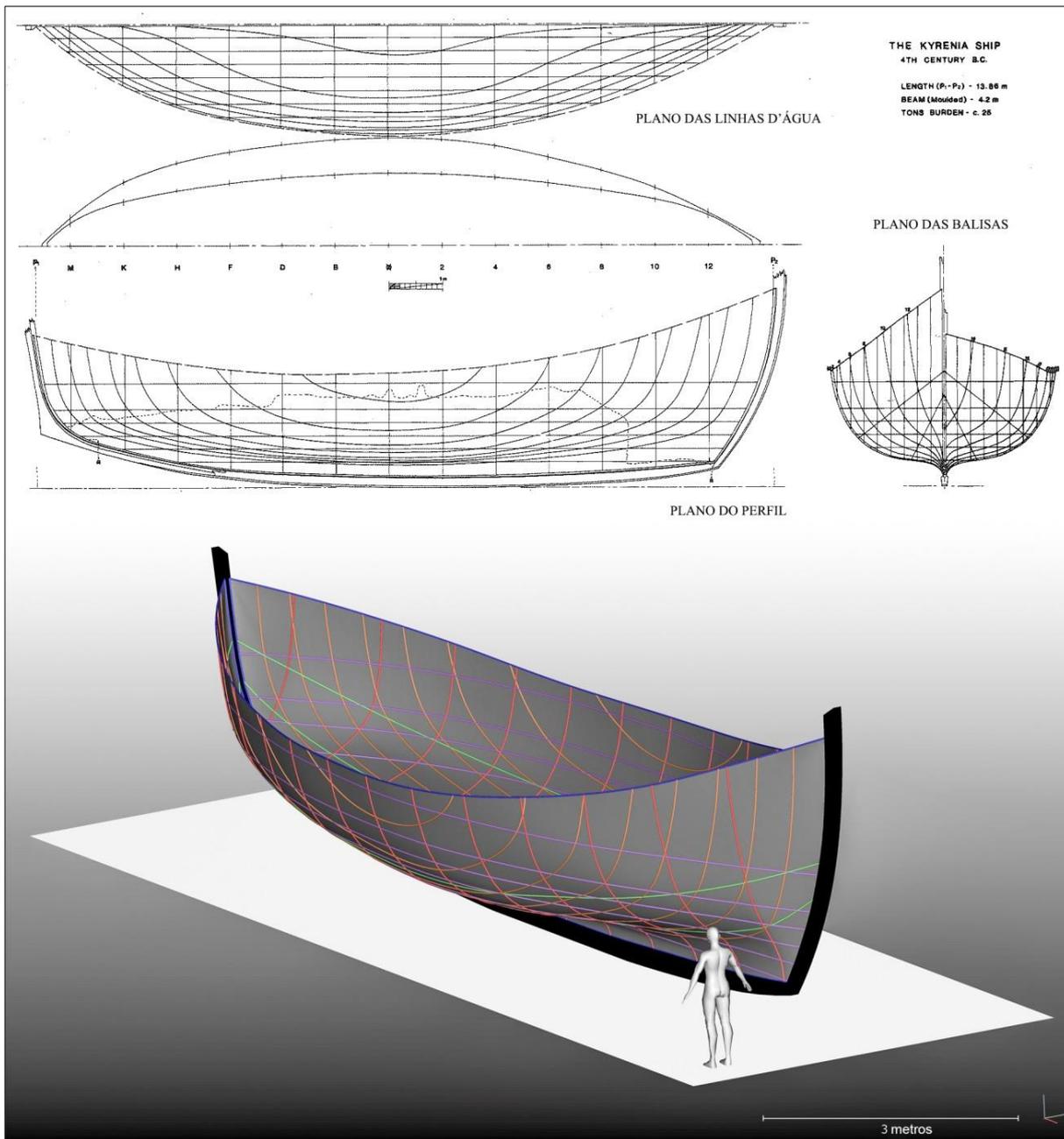


Figura 8: Acima, representação convencional em três planos da forma do casco do navio grego Kyrenia (Grécia, séc. IV a.C.) (Modificado de Steffy, 1996: 55). Abaixo, forma do casco modelada a partir das curvas projetas (Autoria: Kotaro Yamafune).

### Catálogos de artefatos, madeiras e peças do navio

Os catálogos de artefatos são geralmente organizados dentro dos bancos de dados da escavação, e a maioria dos países tem um formato nacional de inventário que contém interfaces com instituições de conservação e curadoria. Neste artigo, concentraremos-nos em outro grande banco de dados: os catálogos das madeiras e peças do navio.

O estudo arqueológico das estruturas das embarcações requer a organização cuidadosa de um catálogo de madeiras e peças do navio encontradas no contexto da escavação, a ser mantido em formato de texto e

imagens organizadas em uma base de dados. Nessa etapa, são preparados desenhos individuais de cada peça, aos quais são agregadas as várias informações coletadas durante o trabalho de campo. Todas as imagens, croquis, arquivos gráficos, modelos tridimensionais e notas devem ser organizadas em uma pasta separada por madeira, que por sua vez podem ser agrupadas como: peças da quilha, do cavername, do forro externo e forro interno (Steffy, 1996: 205-213). No fluxo de trabalho proposto, os catálogos inserem-se na etapa de criação dos planos do sítio e desenhos das madeiras, articulando-se com a análise do casco e reconstrução arqueológica do navio.

Da mesma forma que as ortofotos são utilizadas como gabarito para a documentação das madeiras durante a escavação, também podem ser utilizadas para o desenho das peças individuais. Manuseando-se alguns recursos básicos do programa *Adobe Photoshop CS6*, é possível produzir imagens em escala com as características de desenhos feitos “a lapis”, que depois podem ser detalhados com observações feitas pelo arqueólogo, com grande eficiência e qualidade (Figura 9).

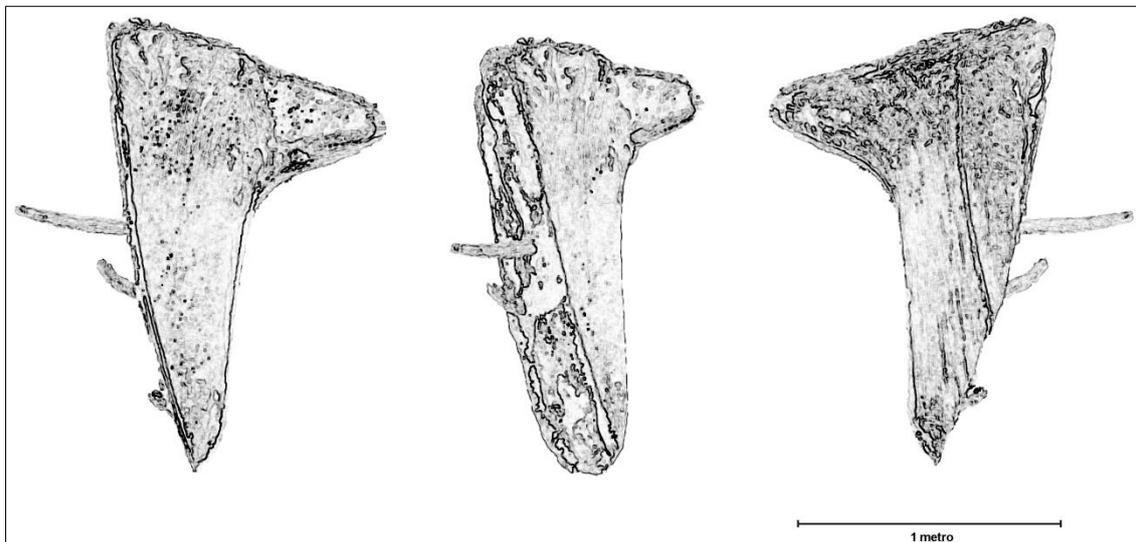


Figura 9: Renderização com aspecto de desenho feita a partir de ortofotos (Autoria: Samila Ferreira)

Para isso é preciso exportar as ortofotos nas diferentes projeções que se pretende representar no desenho e levá-las ao *Photoshop*. Utilizando a ferramenta Seleção Rápida, selecione a peça e inverta a seleção. Apague então o pano de fundo, de forma a evidenciar somente a peça, e remova toda a saturação da camada. Em seguida busque na galeria o filtro Estilizar, Arestas brilhantes, e no painel superior, no menu Imagem, selecione Ajustes e depois Inverter.

### **Pesquisa de Arquivo, Análise do Casco e Análise do Sítio**

O estudo de naufrágios históricos é um processo fundamentado tanto em dados arqueológicos quanto históricos. Os registros históricos fornecem ao arqueólogo uma compreensão do contexto social e cultural dentro do qual o navio foi construído, utilizado, perdido ou descartado, tornando a investigação documental, cartográfica e iconográfica um passo importante para a interpretação bem sucedida de um sítio de naufrágio.

Por outro lado, o registro arqueológico fornece ao pesquisador uma janela para a cultura material contemporânea ao acidente, que é revelada apenas indiretamente através do material remanescente no sítio. Uma avaliação rigorosa dos processos de formação de sítio e da distribuição espacial dos elementos do navio fazem parte do escopo da análise do sítio. O uso de ferramentas de SIG nessa etapa permite-nos dispor em camadas os dados coletados com informações espaciais, permitindo por exemplo a análise da distribuição de artefatos de acordo com as partes do casco e a topografia dos terreno.

Além das relações, associações e sobreposições entre estruturas e artefatos que compõem a estratigrafia do sítio arqueológico, a própria estrutura do casco de qualquer embarcação possui analogamente informações sobre a sequência construtiva, que buscamos compreender para recuperar informações concernentes às tradições e à tecnologia náutica contemporânea ao acidente. Desse modo, compreender a sequência construtiva de uma embarcação é parte integral da estratégia de escavação de sítios de naufrágio (Castro *et al.*, 2011).

Como observado anteriormente, a reconstrução de um navio a partir de seus restos arqueológicos é um processo iterativo que deve ser testado à luz de novas informações (Evangelista, 2011). Um bom teste de plausibilidade para cada etapa da reconstrução arqueológica é a análise dos parâmetros hidrodinâmicos e coeficientes hidrostáticos da forma do casco, tais como coeficiente de bloco, coeficiente prismático, coeficiente da seção mestra e coeficiente da área de flutuação (Steffy, 1996; Santos *et al.*, 2012;).

As reconstruções tridimensionais fotogramétricas analisadas em programas de computação gráfica têm permitido a exploração de hipóteses alternativas com grande robustez, através, por exemplo, de técnicas de deformações do casco (*rigging*), testes de capacidade de carga, posicionamento dos mastros, divisões internas, distribuição de armamentos, mantimentos, entre outras especulações úteis à compreensão da construção e uso das embarcações (Figura 10).

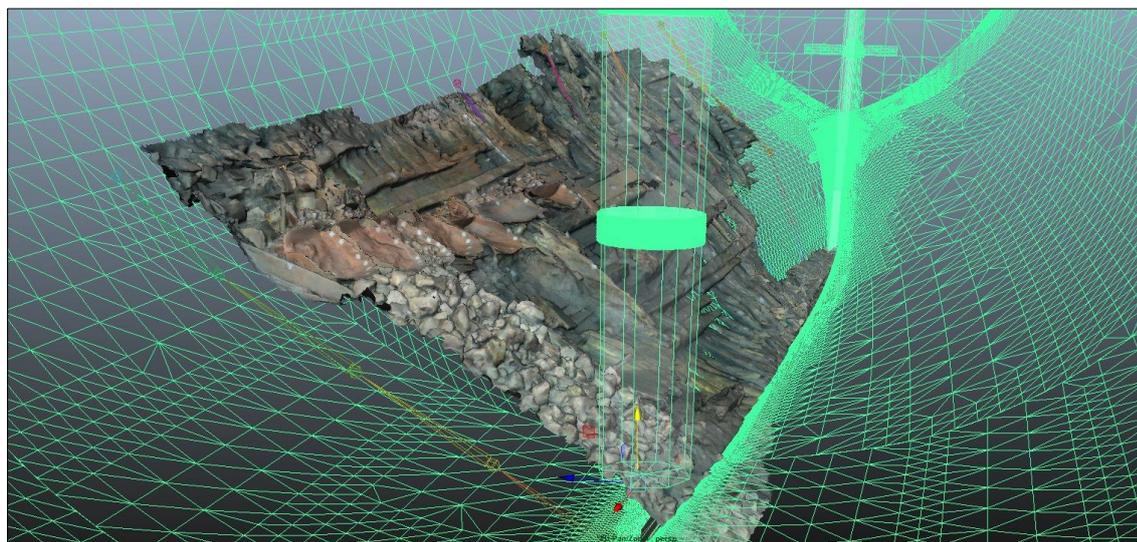


Figura 10: Teste de deformação do modelo fotogramétrico do navio Gnalic (1583) de acordo com o modelo hipotético de reconstrução do casco (Autoria: Kotaro Yamafune).

É importante ter em mente, entretanto, que a maioria das reconstruções são suposições, cujo valor está justamente na capacidade de serem construídas e desconstruídas toda vez que novos dados estejam

disponíveis. Nesse sentido, a validade dos modelos criados deve sempre residir no diálogo metodológico entre a realidade observada, o contexto histórico do navio e os pressupostos teóricos do observador. Essa flexibilidade cognitiva é altamente reforçada no âmbito digital (Figura 11).

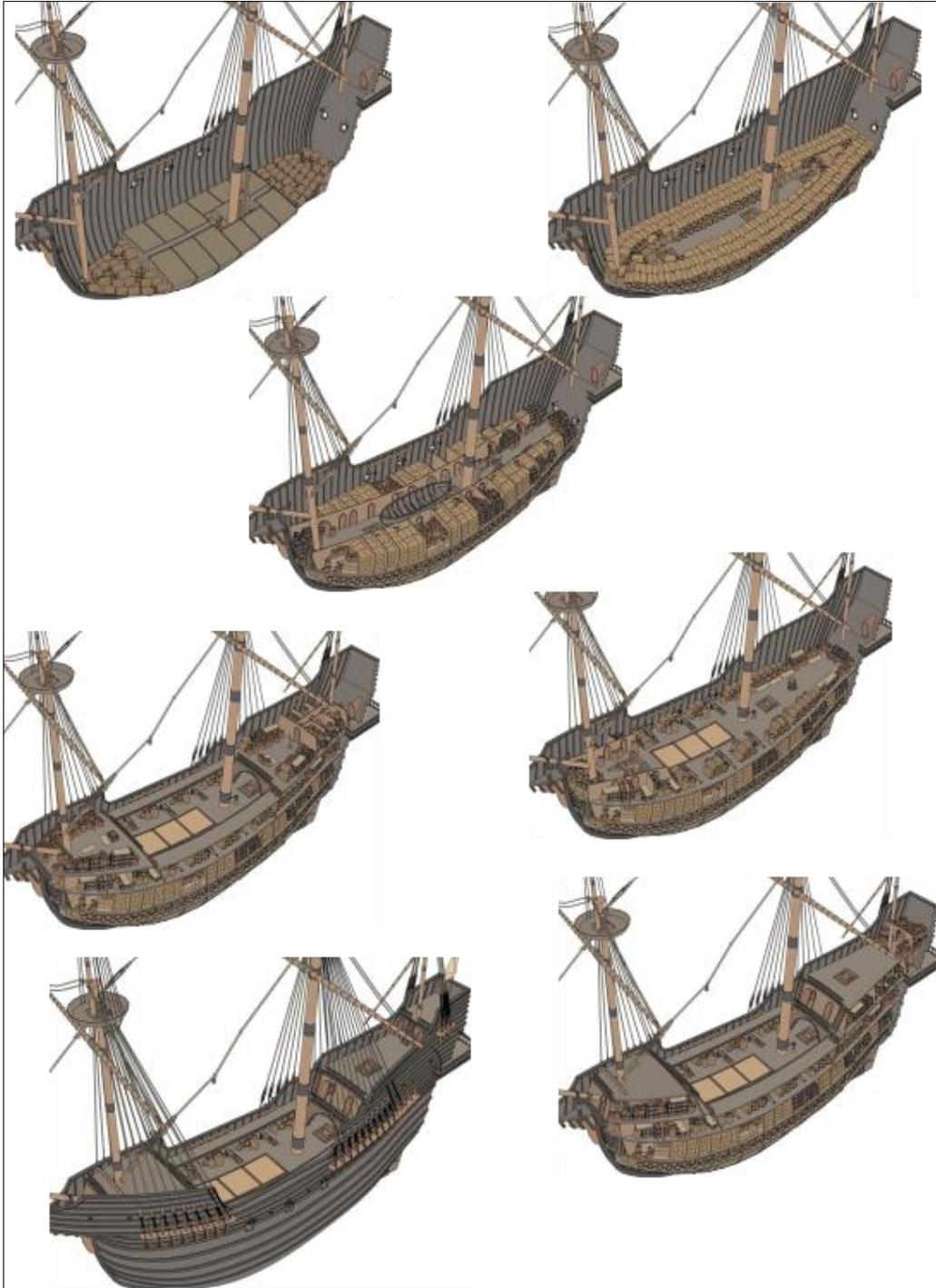


Figura 11: Reconstrução digital do casco, carregamento, convés e disposição do armamento de uma nau portuguesa do século XVII (Modificado de Wells, 2008), baseada no estudo histórico e arqueológico do sítio da nau Nossa Senhora dos Mártires (1606) (Castro, 2003; ver também <http://nautarch.tamu.edu/shiplab/Index-virtualnau02.htm>, acesso em 05/06/2017).

#### Disseminação da informação

Grande parte do valor social da Arqueologia encontra-se na capacidade de gerar compreensão e reflexão a partir da disponibilização pública do acesso às descobertas arqueológicas. A comunidade acadêmica em geral, e os arqueólogos em particular, entretanto, demoram para publicar seus resultados e muitas vezes são reticentes quando o assunto é compartilhar informações arqueológicas e temas científicos com a opinião pública. Por essa razão, vários países começaram a emitir normas e leis que fomentam o compartilhamento de informações arqueológicas, tanto através de publicações como por meio de relatórios contendo dados primários. Um exemplo disso é a Convenção da UNESCO para o Patrimônio Cultural Subaquático de 2001, que inclui no seu Anexo, Regras XII e XIV, recomendações para a publicação de relatórios e disseminação de informações provenientes de escavações arqueológicas.

A situação ideal para um projeto arqueológico seria então aquela na qual os dados coletados fossem compartilhados online e os comentários de nossos colegas e do público em geral pudessem ser utilizados para melhorar ou corrigir o processo de escavação. Nesse sentido, os modelos digitais tridimensionais constituem um formato versátil para divulgar dados brutos ou interpretações através da Internet, potencialmente encorajando a colaboração e a crítica dos pares, assim como a participação do público, na medida em que podem ser disponibilizados, baixados ou impressos, com aplicações em contextos acadêmicos, escolares, museográficos e turísticos, por exemplo.

Um produto interessante nesse sentido é a criação de vídeos de animação dos modelos tridimensionais, utilizados na elaboração de roteiros virtuais com objetivo de informação ou entretenimento, ou ambos. Pacotes de programas de animação, alguns deles gratuitos, como o Blender ([www.blender.org](http://www.blender.org)), permitem o posicionamento de câmeras virtuais sobre o modelo para a criação de um caminho ao longo do qual o observador pode viajar, visitando pontos de interesse e acessando informações (para um exemplo, acessar: <https://youtu.be/s7ONnWIHmRg>). Outra forma de disseminação baseada em modelos digitais tridimensionais é a concepção de ambientes de realidade virtual e realidade aumentada, cada vez mais disponíveis e acessíveis (Lu & Pan, 2010; Forte, 2014; Pescarin, 2014) (Figura 12).



*Figura 12: Ambiente interativo de realidade virtual baseado nas escavações da nau portuguesa da Índia Nossa Senhora dos Mártires (1606) (Modificado de Wells, 2008).*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor do passado e do patrimônio cultural é reconhecido mundialmente, porém sua importância no contexto das sociedades varia relativamente à consciência e às projeções que temos sobre temas bem mais mundanos, como o crescimento da população mundial, a urbanização, o desmatamento, a erosão costeira e o aquecimento global, a pescaria de redes de arrasto em alto-mar e a caça ao tesouro, que estão destruindo o registro arqueológico marítimo e subaquático em ritmo acelerado (Guèrin & Egger, 2001). O fato é que, se quisermos alterar o fiel da balança da valoração do patrimônio cultural, teremos que extrapolar a discussão arqueológica para além dos limites estritos da universidade.

Nesse sentido, a tecnologia digital tem potencializando a aquisição, tratamento, análise e publicação de dados arqueológicos, e uma amostra cada vez maior de naufrágios escavados vem criando oportunidades para o desenvolvimento de estudos com maior alcance, a partir da inclusão de mais teorias na análise de navios e atividades marítimas. Há problemas, entretanto, que dizem respeito ao fomento de ambientes acadêmicos e curriculares que possam permitir a inserção ativa das universidades e centros de pesquisa no contexto de uma arqueologia da era digital.

Neste artigo, apresentamos experiências acadêmicas e profissionais desenvolvidas nos últimos 10 anos por membros da equipe do *Ship Reconstruction Laboratory* da Universidade do Texas A&M, EUA, resultantes da participação em diversos projetos de colaboração internacional, para propor uma metodologia de integração de variadas técnicas computacionais à pesquisa e interpretação de sítios arqueológicos de naufrágios históricos.

A contribuição que pretendemos com este artigo, entretanto, não é a descrição dos métodos e técnicas utilizados, mas sim a discussão que possa vir a suscitar sobre a virtualização do dado arqueológico e seus impactos na prática acadêmica. A inovação, propriamente dita, está na dupla qualidade que possuem os modelos digitais tridimensionais, que são, ao mesmo tempo, métricos e comunicativos. À medida que os computadores se tornam ainda mais sofisticados e os programas de modelagem tridimensional mais amplamente disponíveis, o uso da computação gráfica e da cibernética no campo e na sala de aula tenderá a afetar radicalmente a produção acadêmica. Esperamos que a adoção progressiva das técnicas digitais em Arqueologia Náutica venha a contribuir para a mudança da situação atual de falta de circulação de informações entre os pares e com o público.

Dados digitais, apesar de sua complexidade e sofisticação, não são isentos de erros e devem ser analisados e interpretados sob os mesmos princípios científicos que o trabalho convencional. O sentido do impacto da tecnologia digital na prática acadêmica, portanto, não parece ser o de automatizar o trabalho e substituir o arqueólogo, mas sim o de permitir estudos mais robustos, em ambientes ricos em dados, valorizando uma ciência mais colaborativa e participativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATWOOD, R., 2007. Publish or be Punished: Israel Cracks Down on Delinquent Diggers. *Archaeology*, vol. 60(2): 18-62.
- ATKINSON, K. *et al.* 1988. The Application of a least squares adjustment program to underwater survey, *International Journal of Nautical Archaeology* 17(2): 119-131.
- BAKER, P. & GREEN, J., 1976. Recording techniques used during the excavation of the Batavia. *International Journal of Nautical Archaeology* 5(2): 143-158.
- BASS, G. 1966. *Archaeology Under Water*. Praeger: Nova Iorque. 224p.
- \_\_\_\_\_. 2011. Introduction. *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Catsambis, A., Ford, B., e Hamilton D., (eds.), Oxford University Press, Nova Iorque.
- BASS, G., & ROSENCRANTZ, D., 1973. L'utilisation des submersibles pour les recherches et la cartographie photogrammétrique sous-marine, *L'archéologie subaquatique, une discipline naissante*. UNESCO, Paris.
- BERGGREN, A. *et al.* 2015. Revisiting reflexive archaeology at Çatalhöyük: integrating digital and 3D technologies at the trowels's edge. *Antiquity*. 89: 433-488.
- BERMAN, M. 1988. *All that is solid melts into air – The experience of modernity*. Penguin Books: Nova Iorque.
- BOARDMAN, J., 2009. Archaeologists, Collectors, and Museums, In *Whose Culture? The Promise of Museums and the Debate over Antiquities*, Cuno, J., (ed.), Princeton University Press, Princeton.
- BOWENS, A. (ed.). 2009. *Underwater Archaeology: The NAS Guide to Principles and Practice*. Second Edition. The Nautical Archaeology Society. Blackwell Publishing: Reino Unido. 226p.
- CASTRO, F. *et al.*, 2011. The Cais do Sodré Shipwreck, *International Journal of Nautical Archaeology* 40(2): 328-343.
- CASTRO, F. & FONSECA, N., 2006. Sailing the Pepper Wreck: A Proposed Methodology to Understand an Early 17th-Century Portuguese Indiamen, *International Journal of Nautical Archaeology* 35 (1): 97-103.
- CASTRO, F., 2003. The Pepper Wreck, *International Journal of Nautical Archaeology* 32(1): 6-23.
- CIANI J. B. *et al.* 1971. Seafloor surveying by divers. In *ASCE Journal of Survey and Mapping Division*, Vol.97: 149-164.
- DELLINO-MUSGRAVE, V. E. 2006. *Maritime Archaeology and Social Relations – British Action in the Southern Hemisphere*. The Springer Series in Underwater Archaeology. Springer Science+Business Media. Nova Iorque.
- DIAMANTI, E. *et al.* 2011. Geometric documentation of underwater archaeological sites, *Proceeding of the XXIII CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic, September 12-16, edited by Karel Pavelka. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering in cooperation with CIPA, p. 1-8.
- DRAP, P., 2012. Underwater Photogrammetry for Archaeology, In: *Special Applications of Photogrammetry*, Silva, D. (ed.). Institute for New Technologies, Maastricht.
- DRAP, P., & LONG, L., 2001. Towards a digital excavation data management system: the 'Grand Ribaud F' Etruscan deep-water wreck, In: *Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*. ACM Press: Nova Iorque.
- EVANGELISTA, J., 2011. The Cyber-Reconstruction of Our Lady of the Martyrs, *Surveyor*, Fall 2011, pp. 7-31.
- FAIG, W., 1979. Photogrammetric surveys of underwater objects. In: *Proceedings coastal mapping symposium*, August 1978, Rockville, Maryland, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, pp.183-187.

- FLATMAN, J. & STANFORTH, M. 2006. Historical Maritime Archaeology. In *The Cambridge Companion to Historical Archaeology*. D. Hicks e M. Beaudry (eds.), pp. 168-188. Cambridge University Press. Cambridge.
- FORTE, M. 2014. Virtual Reality, Ciberarchaeology, Teleimmersive Archaeology. In *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*. Remondino, F & Campana, S. (ed.). BAR International Series 2598.
- FOUCALT, M. 1998. Different Spaces. In: *Aesthetics, Method and Epistemology*. Fausion (ed.) Volume 2. The New Press: Nova Iorque.
- GILROY, P. 2001. *O Atlântico Negro. Modernidade e dupla consciência*. Universidade Cândido Mendes – Centro de Estudos Afro-Asiáticos, Rio de Janeiro.
- GREEN, J. *et al.* 2002. Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: Different applications for different problems, *International Journal of Nautical Archaeology* v. 31(2): 283-292.
- GUÈRIN, U. & EGGER, B. (ed.), 2001. *UNESCO Manual for Activities directed at Underwater Cultural Heritage*. UNESCO - Secretariat of the 2001 Convention, Paris.
- HENDERSON, J., 2013. Mapping Submerged Archaeological Sites using Stereo-Vision Photogrammetry, *International Journal of Nautical Archaeology*. Vol. 42(2): 243-256.
- HILL, R., 1994. A Dynamic Context Recording and Modeling System for Archaeology, *International Journal of Nautical Archaeology* 23(2): 141-145.
- HOCKER, F. 2005. Shipbuilding: Philosophy, Practice and Research. In *The Philosophy of Shipbuilding. Conceptual approaches to the study of wooden ships*, Hocker, F. & Ward, C. Ed Rachal Foundation for Nautical Archaeology Series: College Station.
- HOEHLE, J., 1971. Reconstruction of the underwater object. In: *Photogrammetry Engineering*, Vol. 37, pp.948-954.
- HOLT, P., 2003. An assessment of quality in underwater archaeological surveys using tape measurements, *International Journal of Nautical Archaeology* 32(2): 246-251.
- \_\_\_\_\_. 2010. *Site Recorder 4 Exercise Book. Version 1.5* June 2011. 3H Consulting Ltd. <http://www.3hconsulting.com/Downloads/SiteRecorder4ExerciseBook.pdf> (consulted in 19/05/2017).
- LU, D. & PAN, Y. 2010. *Digital Preservation for Heritages*. Technologies and Applications. Zherlan University Press – Springer: China.
- MCCARTHY, J., & BENJAMIN, J., 2014. Multi-image Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording: An Accessible Diver-Based Approach, *Journal of Maritime Archaeology* vol. 9: 95-11.
- MAHON, I., *et al.*, 2011. Reconstructing Pavlopetri: Mapping the World's Oldest Submerged Town using Stereo-vision. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Shanghai International Conference Center. Shanghai, China.
- PESCARIN, S. 2014. Virtual Reality & cyberarchaeology – virtual museums. In *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*. Remondino, F & Campana, S. (ed.). BAR International Series 2598.
- PETRIE, F. 1904. *Methods and Aims in Archaeology*. MacMillan and Co., Londres.
- POLLIO, J., 1971. Underwater Mapping with Photography and SONAR. in *Photogrammetry Engineering*, Vol. 37: 955-968.
- ROSENCRANTZ, D. M. 1975. Underwater Photography and Photogrammetry, in: *Photography in Archaeological Research*, School of American Research Advanced Seminar Series. University of New Mexico Press: Albuquerque. Pp. 265–309.

- RULE, N., 1989. The Direct Survey Method (DSM) of underwater survey, and its application underwater, *International Journal of Nautical Archaeology* 18(2): 157-162.
- RULE, N. 1995. Some techniques for cost-effective three-dimensional mapping of underwater sites. In *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1993 Conference*. BAR International Series vol. 598: 51-56.
- SANTOS, T. *et al.* 2012 Loading and Stability of a Late 16th Century Portuguese Indiamen, *Journal of Archaeological Science* 39: 2835-2844.
- SKARLATOS, D., & ROVA, M. 2010. Photogrammetric approaches for the archaeological mapping of the Mazotos shipwreck, *7th International Conference on Science and Technology In Archaeology and Conservation*, Petra.
- STEFFY, R. 1982. The reconstruction of the 11th century Serce Liman vessel, a preliminary report, *International Journal of Nautical Archaeology* 11(1) :13-34
- \_\_\_\_\_. 1989a The Role of Three-Dimensional Research in the Kyrenia Ship Reconstruction, *Tropis I: 1st International Symposium on Ship Construction in Antiquity*, ed, Harry Tzalas, Athens, Hellenic Institute for the Preservation of Nautical Tradition.
- \_\_\_\_\_. 1989b, Ancient Scantlings: The projection and control of Mediterranean hull shapes, *Tropis III: 3rd International Symposium on Ship Construction in Antiquity*, ed, Harry Tzalas, Athens, Hellenic Institute for the Preservation of Nautical Tradition.
- \_\_\_\_\_. 1990. Problems and Progress in Dating Ancient Vessels by their Construction Features. *Tropis II, Proceedings of the 2nd International Symposium on Ship Construction in Antiquity*. Athens, pp. 315-320.
- \_\_\_\_\_. 1996. *Wooden Ship Building and the Interpretation of Shipwrecks*. College Station: Texas A&M University Press..
- TCHERNIA, A. *et al.* 1978. L'épave romaine de La Madrague de Giens. In: *Supplément à Gallia*, 34.
- TORRES, R. *et al.* 2014. *Photogrammetry Orthomosaic*. Gnalic Shipwreck Site, Croácia, 2014. Documento cartográfico, Escala 1:5.
- TORRES, R. & FARHERR, R. 2016. O navio, suas tripulações e o papel mediador da cultura mercantil-marítima nas fronteiras atlânticas do capitalismo oitocentista In *Actas del XIX Congreso Nacional de Arqueología Argentina XIX Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, Universidade Nacional de Tucumán, pp. 1024-1028.
- TORRES, R.. 2017. Arqueologia náutica no sul do Brasil: Escavação dos sítios NAV Inédito e NAV Lagoa do Peixe. Dossiê Arqueologia Subaquática. *Cadernos do Lepaarq (UFPEL)*. v. 14 (27): 1: 38.
- VAN DAMME, T., 2015. Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeology Site Recording in a Low-Visibility Environment. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V. XL-5/W5. Underwater 3D Recording and Modeling. Piano di Sorrento, Italy.
- WELLS, A. E. 2008. *Virtual Reconstruction of a Seventeenth-Century Portuguese Nau*. Tese de Mestrado. Visualization Sciences. Texas A&M University, USA.
- YAMAFUNE, K. *et al.* 2016. Multi-Image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwrecks. *Journal of Archaeology Method and Theory*. vol. 23(1): 1-25.
- ZHUKOVSKY, M., *et al.* 2013. Photogrammetric Techniques for 3-D Underwater Record of the Antique Time Ship From Phanagoria, *XXIV International CIPA Symposium*, Strasbourg, France, pp. 717-721.