

PROXECTO SENTINELA. TÉCNICAS E PROCEDEMENTOS PARA O REXISTRO DO PATRIMONIO CULTURAL INMOBLE

Proyecto SENTINELA. Técnicas y procedimientos para el registro del patrimonio cultural
inmueble

Project SENTINELA. Methods and procedures for the registration of immovable cultural
heritage

Patricia Valle Abad. Investigadora postdoutoral Margarita Salas - Arqueóloga, GEAAT-UVigo, Campus Auga, Pabellón 2, Planta 1, Despacho 20, As Lagoas, s/n 32004 Ourense, 988 387 295, pvalle@uvigo.es

Marta Lago Cerviño. Conservadora-restauradora, GEAAT UVigo, Campus Auga, Pabellón 2, Planta 1, Despacho 20, As Lagoas, s/n 32004 Ourense, 988 387 295, mlcervinho@gmail.com

Nerea Ruanova Álvarez. Investigadora predoutoral – Arqueóloga técnica do GEAAT-UVigo, Campus Auga, Pabellón 2, Planta 1, Despacho 20, As Lagoas, s/n 32004 Ourense, 988 387 295, nerea.r.a@gmail.com

Alba Antía Rodríguez Nóvoa. Investigadora postdoutoral Margarita Salas - Arqueóloga, GEAAT-UVigo, Campus Auga, Pabellón 2, Planta 1, Despacho 20, As Lagoas, s/n 32004 Ourense, 988 387 295, alba.antia.rodriguez.novoa@uvigo.es

Adolfo Fernández Fernández. Investigador Ramón y Cajal – Arqueólogo, GEAAT-UVigo, Campus Auga, Pabellón 2, Planta 1, Despacho 20, As Lagoas, s/n 32004 Ourense, 988 387 295, adolfo@uvigo.es

Resumo

A presión humana e os eventos climáticos extremos son os principais factores de risco e degradación do patrimonio cultural inmobile. Esta erosión é especialmente notable nas zonas costeiras, debido aos cambios nas mareas, e por ser zonas cunha alta incidencia turística. O Parque Nacional Marítimo Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia (PNMITAG) constitúe un bo exemplo de ambas casuísticas, contando ademais cun importante patrimonio histórico, dentro dun entorno catalogado coma reserva da biosfera. O proxecto SENTINELA, financiado polo Ministerio para a Transición Ecolóxica e o Reto Demográfico (2023-2025), nace co obxectivo de monitorizar e rexistrar estes axentes de degradación, así como o seu impacto sobre o patrimonio cultural das illas do mencionado

Parque. Para a súa consecución, deseñáronse diferentes protocolos de rexistro, adaptados á casuística (localización, tipoloxía, estado de conservación, etc.) de cada xacemento ou elemento histórico. Esta monitorización permitirá determinar a velocidade da degradación e o grado de afección que sofren, para establecer medidas correctoras que permitan preservar o patrimonio histórico dos arquipélagos. O presente artigo detalla as metodoloxías empregadas para este rexistro, así como as problemáticas xurdidas ao longo do proceso e os resultados acadados ata o de agora.

Palabras clave: Fotogrametría, Lidar, arqueoloxía, costa, conservación

Resumen

La presión humana y los eventos climatológicos extremos son los principales factores de riesgo y degradación del patrimonio cultural inmovible. Esta erosión es especialmente notable en las zonas costeras, debido a los cambios en las mareas, y por ser zonas con una alta incidencia turística. El Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (PNMTIAG) constituye un buen ejemplo de ambas casuísticas, contando además con un importante patrimonio histórico, dentro de un entorno catalogado como reserva natural de la biosfera. El proyecto SENTINELA, financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023-2025), nace con el objetivo de monitorizar y registrar estos agentes de degradación, así como su impacto sobre el patrimonio cultural de las islas del mencionado Parque. Para su consecución, se diseñaron diferentes protocolos de registro, adaptados a la casuística (localización, tipología, estado de conservación, etc.) de cada yacimiento o elemento histórico. Esta monitorización permitirá determinar la velocidad de la degradación y el grado de afección que sufren, para establecer medidas correctoras que permitan preservar el patrimonio histórico de los archipiélagos. El presente artículo detalla las metodologías empleadas para este registro, así como las problemáticas surgidas a lo largo del proceso y los resultados obtenidos hasta el momento.

Palabras clave: Fotogrametría, Lidar, arqueología, costa, conservación

Abstract

Human pressure and extreme climatic events are the main risk and degradation factors that affect the immovable cultural heritage. This erosion is especially notable in the coast areas, due to the changes in the tides, and in areas with a high incidence of tourism. The National Park Maritime-Terrestrial of the Atlantic Islands of Galicia (PNMTIAG) is a good example of both cases. It preserves an important historical heritage, in a landscape catalogued as natural reserve of the biosphere. Project SENTINELA, funded by the Ministry of Ecologic Transition and Demographic Challenge (2023-2025) has the aim of monitoring and registry those degradation agents, as well as their impact on the cultural heritage of the islands. To achieve this goal, we designed a series of registry protocols, adapted to the variety (location, typology, preservation, etc.) of the archaeological and historical sites. This monitoring will allow to determine the rate of degradation and the grade of erosion suffered by the cultural elements, to establish corrective measures that ensure the preservation of the historical heritage of the archipelagos. This paper details the methodology used for this registry, as well as the issues found along the process and the results obtained so far.

Keywords: Photogrammetry, Lidar, archaeology, coast, conservation

1. Introducción

Os eventos climatolóxicos extremos rexistrados nas últimas décadas, así como os cambios e alteracións que producen nos ecosistemas e paisaxes, constitúen un risco para a conservación do patrimonio cultural inmovible¹. Estes efectos son especialmente notables en zonas costeiras, debido aos cambios nas mareas, aos fortes ventos e as chuvias, que producen variacións na morfoloxía das costas², erosionando o terreo (p. ex. a degradación de cantís e acantilados pola acción do mar) ou movendo grandes cantidades de material (p. ex. area nas zonas de praia). A continua erosión á que están sometidos este tipo de paisaxes derivou na aparición dun significativo número de restos arqueolóxicos ao longo do litoral europeo³, expoñendo estes bens

¹ GARCÍA HERMIDA, A. (2021); COLETTE, A. (2009)

² LOUREIRO, E. (2007)

³ NANCE, D.A. (2024); WISEMAN, A. L. *et al.* (2022); ALMEIDA, A. *et al.* (2017)

e outros xa coñecidos aos mesmos axentes erosivos, provocando a súa progresiva degradación ou incluso a súa desaparición.

Esta problemática, identificada a principios do século XXI por algúns grupos de investigación europeos, foi obxecto dun importante número de proxectos, que tiñan coma finalidade identificar e frear os efectos destes fenómenos naturais sobre o patrimonio histórico. Nas décadas seguintes, os avances tecnolóxicos permitiron incluír novas ferramentas nestes estudos, obtendo evidencias non só da erosión e os dos axentes erosivos, senón tamén cuantificar numericamente os efectos da degradación e medir a velocidade á que esta se producía. A introdución de ferramentas como a fotogrametría e o rexistro 3D mediante láser, permitiron ademais realizar rexistros máis detallados dos bens, creando copias dixitais a escala real dos mesmos. Estes duplicados dixitais servirán como referencia para o estudo e a preservación da memoria histórica destes paisaxes, incluso trala desaparición dos restos físicos, naqueles casos nos que a súa conservación non é posible⁴.

Neste marco xorde SENTINELA, un proxecto orientado a identificar os axentes e procesos erosivos que poñen en risco o patrimonio cultural do PNMTIAG (Figura 1). A súa consecución permitirá identificar os lugares en risco, a velocidade á que se produce a degradación e propor medidas correctoras para que os axentes do Parque Nacional das Illas Atlánticas de Galicia preserven os bens arqueolóxicos e históricos dos arquipélagos.

⁴ KHALID, A. (2022); VON SCHORLEMER, S. (2020)

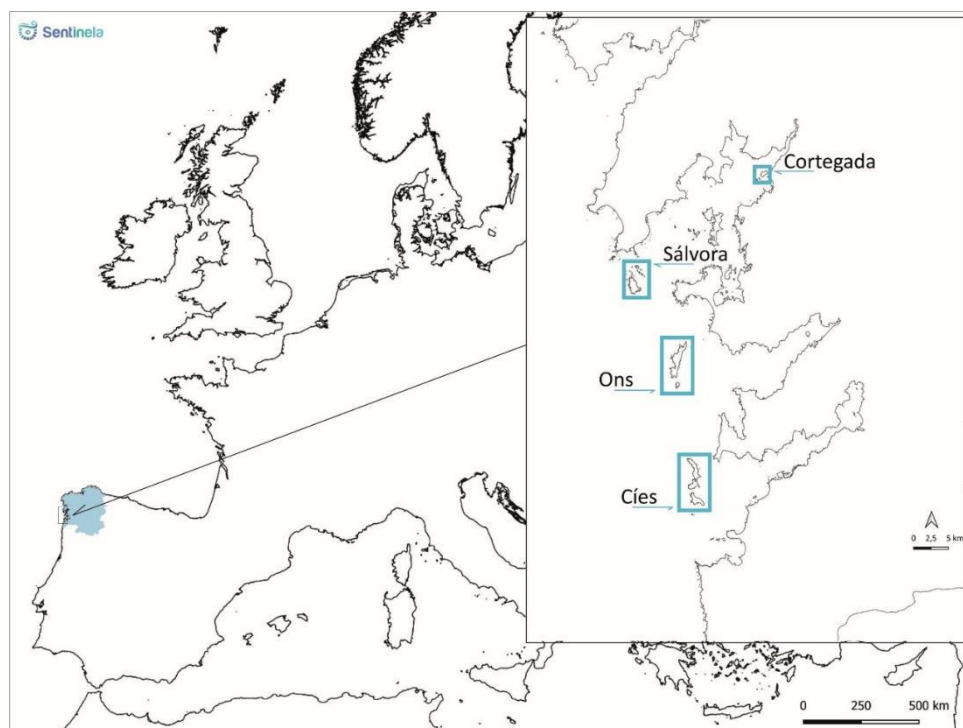


Figura 1. Localización do PNMTIAG e os catro arquipélagos que o conforma.

2. O proxecto SENTINELA

O Grupo de Estudos de Arqueoloxía, Antigüidade e Territorio (GEAAT) da Universidade de Vigo desenvolveu dende o ano 2016 baixo o proxecto “Galtfish: Salt and fish salting in Ancient Gallaecia. Looking for the origins of the Galician canned fish industry” unha serie de intervencións arqueolóxicas no litoral galego. O obxectivo, recuperar información de varias factorías de salgadura romanas das cales apenas se tiñan datos. No marco deste proxecto, desenvolvéronse escavacións nas factorías da Praia do Naso (Illa de Arousa, Pontevedra)⁵, Adro Vello (O Grove, Pontevedra), Sobreira (Vigo, Pontevedra) e Praia de Canexol (Bueu, Pontevedra). A intervención sobre estes xacementos fixo visible a difícil preservación deste tipo de restos, localizados en primeira liña de costa e, en moitos casos, afectados de forma notable polos cambios de morfoloxía sufridos de forma continua pola paisaxe na que se enmarcan.

⁵ FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. *et al.*, (2022b)

A intervención na factoría de Sobreira (2016-2017) permitiu por en práctica un primeiro intento de monitorizar e cuantificar a degradación sufrida por un destes xacementos, calculando a velocidade á que se producía a erosión e identificando aos axentes causantes. Determinouse que, á erosión causada por axentes naturais (chuvia e mareas), sumábanse agresións de carácter antrópico, como a construción dun chalé sobre os restos e o uso do espazo ocupado polo xacemento como camiño de paso⁶.

Unha segunda intervención, neste caso na Praia de Canexol en Ons (2021), puxo novamente de manifesto a continua erosión e degradación sufrida polos restos arqueolóxicos localizados na costa. A factoría, localizada na praia, atópase suspendida sobre un cantil de terra, no que son visibles os restos de muros e pavimentos⁷. A perda de material e estruturas arqueolóxicas e a degradación do propio cantil son visibles *in situ*, rexistrándose derrubes dalgunhas partes da factoría (Figura 2), provocados polas chuvias e as mareas que alcanzan cada ano a base do cantil. A constatación da progresiva perda dos restos arqueolóxicos en Canexol e a dificultade de levar a cabo accións correctoras inmediatas para deter os axentes de degradación, constitúen a orixe do “Proxecto SENTINELA, monitorizando e documentando os procesos erosivos no patrimonio cultural das Illas Atlánticas de Galicia” (2023-2025). Financiado polo Ministerio de Transición Ecolóxica e Reto Demográfico, o proxecto desenvólvese nos catro arquipélagos do Parque Nacional das Illas Atlánticas de Galicia –Cíes, Ons, Sálvora e Cortegada- (Figura 1). Reserva natural da biosfera e parte da rede Natura 2000, que está clasificada coma area de especial protección de aves (ZEPA) e da natureza (ZEC), dos paisaxes mariños (OSPAR), dos valores naturais (ZEPVN) e reserva de auga (Ramsar), entre outros.

⁶ FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. *et al.*, (2022a)

⁷ Para máis información sobre a factoría e as intervencións arqueolóxicas, consultar o artigo “Intervencións na Illa de Ons: as factorías romanas de Canexol (2021-2024)” incluído neste volume.



Figura 2. Derrubo de parte da rampla de acceso as fábrica de salga romanas identificadas na prais de Canexol (xaneiro de 2024).

As illas contan ademais cun importante patrimonio cultural inmobile, testemuña da ocupación humana das mesmas ao longo do tempo. Todas elas, excepto Ons, están deshabitadas; namentres Sálvora é a única que conta cunha protección integral, ao catalogarse coma BIC no ano 2018. As illas son na actualidade un importante destino turístico, soportando unha elevada presión humana durante os meses de verán.

A especial protección coa que contan, o interese das autoridades do Parque na preservación do seu patrimonio histórico e a presenza de varios xacementos e bens culturais en áreas de costa, constituían un escenario ideal para desenvolver un proxecto de monitorización do patrimonio cultural inmobile. As illas, ao ser espazos acoutados, contan ademais con datos cuantitativos dos axentes de degradación (naturais e humanos) que poderían afectar aos bens, aportando datos estatísticos ao estudo. O proxecto, liderado polo GEAAT da Universidade de Vigo, desenvólvese en colaboración co grupo CULXEO da Universidade da Coruña, contando cun equipo interdisciplinar que inclúe estudos arqueo-históricos, de conservación-restauración, estudos de dinámica de dunas, estudos de dinámicas das mareas e estudos xeolóxicos, entre outros.

3. Métodos e técnicas para o rexistro do patrimonio cultural inmobile

3.1 Referentes na monitorización do patrimonio cultural

O proxecto SENTINELA non é o primeiro programa de investigación desenvolto para monitorizar os procesos erosivos naturais sobre o patrimonio cultural costeiro en Europa. Iniciativas similares desenvólvense, principalmente no norte de Europa e na zona atlántica, dende inicios do século XXI, con algúns proxectos aínda activos na actualidade. A experiencia obtida, os resultados acadados e as metodoloxías empregadas foron esenciais para a configuración do proxecto das Illas Atlánticas, facilitando en gran medida o deseño dos protocolos de actuación, a elección dos métodos de rexistro e os traballos posteriores de análise da información.

Un dos proxectos máis relevantes para o desenvolvemento de SENTINELA, tanto polos resultados obtidos coma pola proximidade xeográfica, foi *The eSCOPEs Project* (2013-2015). Trátase dunha iniciativa en colaboración entre investigadores do Reino Unido, Francia e España, co obxectivo de identificar os cambios na paisaxe costeira atlántica e como afectan aos restos arqueolóxicos do período Neolítico. Durante o desenvolvemento do proxecto, monitorizaronse os cambios producidos polas mareas nos restos funerarios localizados no illote de Guidoiro Areoso (Illa de Arousa, Pontevedra). Os resultados deste estudo probaron que o xacemento estaba afectado por unha erosión acelerada, debido ás fortes mareas e tormentas que alcanzan o illote cada ano⁸.

Igualmente relevantes foron os resultados e metodoloxías empregados polo proxecto *Arfordir* (2010-2015), desenvolvido no Reino Unido polo Glamorgan-Gwent Archaeological Trust Ltd. Durante o seu desenvolvemento rexistrouse o estado de preservación de diferentes bens patrimoniais ao longo de cinco anos, realizáronse levantamentos tridimensionais de varios dos sitios investigados e catalogáronse outros novos descoñecidos ata ese momento. O proxecto

⁸ LÓPEZ-ROMERO, E. *et al.* (2016); BLANCO-CHAO, R. *et al.* (2015)

desenvolveu ferramentas específicas para o rexistro destes bens, que foron a base para a creación das fichas de rexistro do proxecto SENTINELA. Outros proxectos desenvolto no Reino Unido son *SCAPE/Sch@rp-Scotland's Coastal Heritage at Risk project* (2012-2016), *CITizan* (2015-2018) e *Rapid Coastal Zone Assessment Surveys*, finalizado en 2018⁹.

Outra iniciativa relevante, debido ao uso das novas tecnoloxías foi *ALeRT*, desenvolto polo *CReAAH* en 2006¹⁰. O seu obxectivo era, novamente, estudar a erosión do patrimonio cultural costeiro, empregando neste caso unha combinación de investigación académica, cun programa de cooperación cidadá, mediante o uso dunha aplicación creada *ex profeso*. Os resultados desta iniciativa, ao igual que no caso de *Afordir* foron especialmente relevantes para o desenvolvemento de SENTINELA. Outros proxectos con obxectivos similares, pero cun acercamento metodolóxico diferente son *The OROMA project* (2002-2005), o proxecto *STORM* (2016-2019), e o proxecto *Cultcoast* (2019-2024)¹¹.

3.2 Monitorización dos bens das Illas Atlánticas de Galicia

Os restos arqueolóxicos e históricos catalogados nas Illas Atlánticas datan dende a Idade do Bronce ata a etapa da posguerra española¹². Nos 84,8 km² que compoñen os catro arquipélagos encontramos entorno a un centenar de bens, repartidos de forma desigual (Figura 3). Presentan casuísticas moi variadas (cronoloxía, tipoloxía, localización, estado de conservación, etc.), polo que o paso previo a súa monitorización e seguimento foi a realización dunha lista pormenorizada de bens, na que se incluíu os datos bibliográficos e imaxes históricas a disposición. Estas lista, integrada inicialmente polos bens recollidos nos catálogos da Xunta de Galicia e a información publicada, foi incrementándose ao longo do proxecto, grazas ás aportacións dos diferentes

⁹ Proxecto Arfordir: <http://www.ggat.org.uk/arfordir/>; proxecto SCAPE/SCH@RP: <http://www.scharp.co.uk/>; proxecto Citizan: <https://citizan.org.uk/>; proxecto RCZAS: <https://archaeologydataservice.ac.uk/archives/view/rczas/>

¹⁰ Proxecto Alert: <https://alert-archeo.org/>

¹¹ Proxecto Oroma: <https://cordis.europa.eu/article/id/82795-coastal-monitoring/es>; proxecto Storm: <http://www.storm-project.eu>; proxecto Cultcoast: MARTENS, V. V. E KRANGNES, L. (2022)

¹² BALLESTEROS-ARIAS, P. *et al.* (2013)

axentes do Parque, á aparición de novos restos arqueolóxicos e á recuperación de arquivos e materiais antigos relativos á ocupación humana das illas.

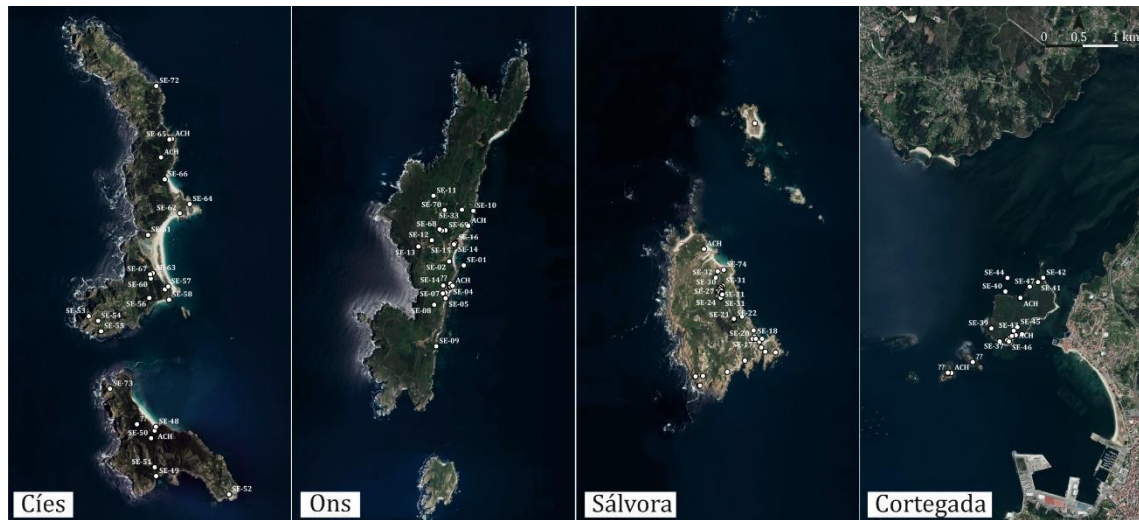


Figura 3. Bens catalogados e visitados durante os dous primeiros anos de proxecto.

Unha vez identificadas todas as variables, procedeuse a deseñar unha serie de protocolos de rexistro, nos que se distinguiron dous niveis de seguimento: un rexistro xeral, aplicado a todos os bens, e un rexistro detallado, aplicado a tres bens seleccionados pola súa localización e afectación, que servirían para analizar cuantitativamente os procesos erosivos.

Para favorecer o correcto almacenamento da información, asociouse un código alfanumérico individual (SE-nº) a cada un dos elementos patrimoniais, facilitando así os traballos de comparación ao evitar posibles erros ou variacións na súa denominación. Deseñáronse fichas e bases de datos específicas para a recompilación da información e establecéronse medidas de actuación singulares para o rexistro en campo. Ademais, debido a especial casuística das illas, os traballos de monitorización limitáronse aos meses de primavera e outono, para evitar a afluencia de turistas e non afectar aos biorritmos dos arquipélagos (p. ex. épocas de cría de aves), procurando repetir as visitas a campo en datas similares cada ano. A aplicación destes protocolos garante o correcto rexistro dos bens, permitindo replicar a metodoloxía de traballo en cada unha das visitas anuais ás illas que contempla o proxecto.

Monitorización xeral: fichas de rexistro

Método de seguimento básico, aplicado a todos os bens culturais das illas. Para a súa execución deseñáronse fichas de rexistro específicas (Figura 4), o suficientemente amplias como para abarcar a variada casuística dos bens a rexistrar. A fichas inclúen apartados como: identificación do ben, descrición, estado de conservación e observacións, así como outros relativos a súa localización (coordenadas e descrición da zona) e a data de rexistro. O seguimento complementáase coa realización de fotografías xerais e de detalle, identificando posibles axentes de degradación e as pegadas que deixan sobre os bens.

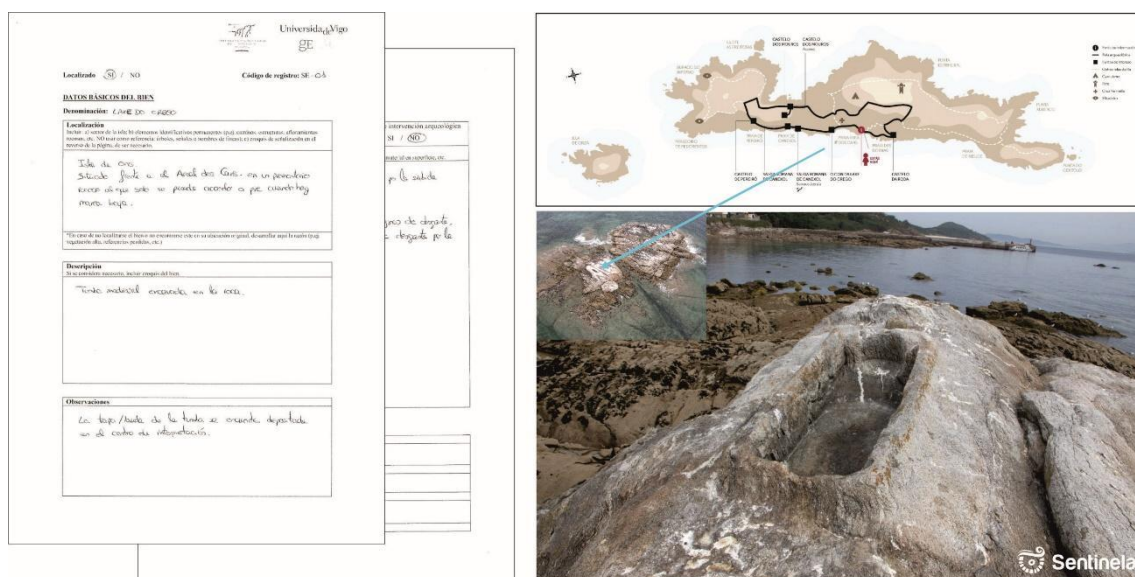


Figura 4. Exemplo de ficha de rexistro, detallando o estado de conservación da sepultura de Laxe do Crego na illa de Ons.

As tomas fotográficas e os datos recompilados nas fichas de rexistro son integradas nunha base de datos, que permitirá a realización de comparativas e o estudo da evolución do estado de conservación dos bens. Para facilitar este traballo, e seguindo os protocolos deseñados para a monitorización, procurouse reproducir as mesmas tomas fotográficas nas visitas anuais aos bens, facilitando a análise visual das posibles ameazas e cambios sufridos por estes elementos patrimoniais.

Paralelamente a este rexistro histórico-arqueolóxico e de control básico dos bens en campo, levouse a cabo outro pormenorizado do estado de conservación de todos os bens, da man dun especialista conservador-restaurador. A información recompilada será integrada en informes de

risco, aos que se sumará á información obtida do seguimento anual dos bens, para determinar as posibles ameazas aos que está sometida cada elemento e a velocidade á que estas evolucionan. Desta forma dotarase ás autoridades do PNMTIAG de ferramentas para que poidan tomar medidas correctoras para frear ou retardar os efectos da erosión sobre o patrimonio cultural das illas.

Monitorización detallada: fotogrametría e LiDAR

O obxectivo principal de SENTINELA era cuantificar e medir os danos no patrimonio arqueolóxico e histórico debido aos efectos dos eventos climáticos adversos e os cambios nas mareas. Por esta razón, e atendendo á degradación sufrida polas estruturas da factoría romana de Canexol entre os anos 2021 e 2022, propúxose un seguimento anual en detalle de tres xacementos localizados no litoral das illas: areal dos Bois en Sálvora, a factoría de salga de San Martiño en Cíes sur e o a factoría romana de Canexol en Ons.

Para analizar os efectos dos diferentes axentes erosivos, tanto naturais coma antrópicos, propúxose a realización de modelos tridimensionais anuais dos tres bens, para a súa posterior comparación mediante o software CloudCompare©. Este programa permite a comparación de nubes de puntos de alta densidade de diferentes modelos tridimensionais, aportando datos relativos ás zonas nas que se produce perda ou ganancia de material. Representado mediante escalas de cor, permite cuantificar os cambios producidos nos bens, así como identificar as zonas de maior afección. Esta información, unida á análise visual do ben e a identificación dos axentes de degradación en campo, permite ademais predicir as zonas en risco de derrube ou perda.

O emprego de tecnoloxías 3D para o rexistro do patrimonio cultural en risco está documentado noutros proxectos similares, coma *Afordir* ou *The Escopes*, centrados na adquisición de duplicados dixitais dos xacementos ante a súa inexorable degradación. A utilidade destas ferramentas para a creación de modelos comparativos nos que cuantificar as perdas de materia ou a súa evolución está tamén amplamente documentada na bibliografía, referida tanto á protección do patrimonio

cultural coma de paisaxes naturais¹³. Seguindo o exemplo destas experiencias previas, o proxecto SENTINELA propuxo tres tipos de rexistro diferentes, en función das características de cada un dos bens monitorizados, para obter modelos aptos para a súa comparación.

Areal dos Bois

Localizada no nordeste da illa de Sálvora, o areal dos Bois foi intervido arqueolóxicamente nos anos 2022 e 2023, recuperándose indicios de ocupación humana na zona¹⁴. O areal atópase afectado polas mareas e o vento, que modifican cada ano a fisionomía da duna que cubre os restos. Co obxectivo de determinar o grado de afección que este continuo desprazamento da duna podería ter sobre os restos arqueolóxicos, así como as posibilidades de que fosen expostos de forma natural, decidiuse realizar un levantamento da zona da praia.

O método escollido foi un escáner LiDAR montado sobre un vehículo aéreo non tripulado (UAS). A elección deste sistema responde ás propias necesidades e dificultades da zona a dixitalizar: un areal de aproximadamente 300 metros lineais cunha gran zona de auga asociada. A extensión a rexistrar, así como a composición do propio terreo (area), imposibilitaban o uso de medios manuais en terra para o rexistro da zona, a risco de modificar a morfoloxía do terreo debido ao tránsito que debería realizarse sobre o mesmo. Por esta razón, foi necesario o emprego dun UAS ou drone. A elección de tecnoloxías láser para o levantamento estivo novamente relacionada coa composición do propio terreo e a presenza de auga, posto que o LiDAR tende a ofrecer mellores resultados neste tipo de ambientes que a fotogrametría convencional¹⁵.

O resultado foi unha nube de puntos de alta resolución, na que se poden identificar as variacións na duna, tanto na zona inmediata á praia, como na área na que se identificou a presenza dos restos arqueolóxicos (Figura 5). A realización de sucesivos levantamentos tridimensionais nesta

¹³ DE FINO, M. *et al.* (2023); KONG, X. E HUCKS, R. G. (2023); KONG, X. (2021); BENAVIDES LÓPEZ, J. A. *et al.* (2020); OBANAWA, H. e HAYAKAWA, Y. S. (2018)

¹⁴ FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A. *et al.* (2022c)

¹⁵ MAHMOUD, A.M.A. *et al.* (2021); SOLAZZO, D. *et al.* (2018) NAGIHARA, S. *et al.* (2004)

área permitirá determinar os movementos da duna, as posibles áreas de afectación pola acción da marea e o vento, e os cambios de espesor no depósito de area que protexe o xacemento.

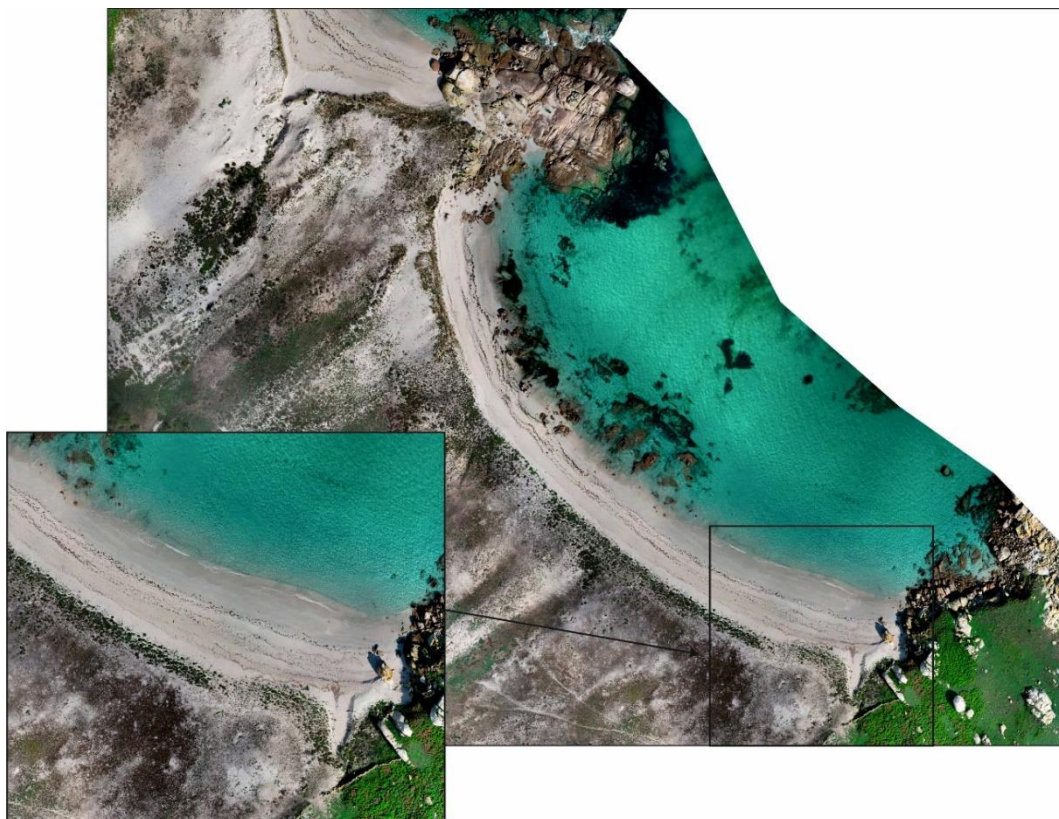


Figura 5. Detalle do levantamento LiDAR con UAS realizado no areal dos Bois.

A factoría San Matiño de Cíes

Localizada ao leste da illa sur de Cíes, trátase dunha fábrica de salga construída no ano 1840¹⁶ e conservada actualmente en estado semi-ruinoso. A edificación está parcialmente cuberta por unha densa vexetación, sendo os principais factores de degradación as mareas na zona leste, debido ao embate do mar contra un dos muros de contención do terreo, e diferentes actividades antrópicas, detectándose a construción dun alpendre no interior dunha das estancias da factoría (Figura 6).

O rexistro da factoría fíxose mediante fotogrametría, empregando un UAS DJI Mavic Air 2. A toma de fotografías realizouse mediante fiadas continuas cun solape mínimo dun 60%, con tomas a diversas alturas e incluíndo algunhas fotografías xerais do edificio. Debido ás diferentes alturas

¹⁶ GONZÁLEZ-ALEMPARTE FERNÁNDEZ, J. (2003).

dos restos conservados, realizáronse fotografías de detalle de cada estancia, así como de elementos diferenciados, como a cheminea conservada ao leste. O resultado foi un modelo tridimensional de máis de 7.5 millóns de caras e un alto detalle, fundamentais para a comparativa cos modelos dos anos sucesivos.



Figura 6. Principais afeccións detectadas na fábrica de salga de San Martiño de Cíes.

Debido á morfoloxía da factoría, a altura dos restos conservados e a imposibilidade de acceder ao interior dunha parte, a toma de datos realizouse exclusivamente co UAS, sen apoio posterior de fotografía manual. Esta operación non estivo exenta de riscos, debido á presenza de árbores e vexetación alta na zona, que dificultaron en gran medida a adquisición de imaxes, tanto polo risco de colisión como pola necesidade de rodear unha parte para a toma de fotografías en distancias regulares.

As factorías de salga romanas de Canexol

Localizadas na praia homónima ao suroeste da illa de Ons, atópanse suspendidas sobre un cantil de terra, a unha altura mínima de 3.5 metros sobre o nivel de area da praia. Ocupan aproximadamente uns 100 metros lineais do cantil, observándose restos de polo menos dúas

fábricas diferentes. As estruturas –pavimentos e muros-, están afectadas polas escorrentías de auga da parte superior do cantil, provocadas por chuvias torrenciais, a presenza de vexetación e, principalmente, polas mareas que erosionan a base do cantil. O primeiro rexistro destes restos elaborouse en 2021, durante as labores de intervención arqueolóxica realizadas na zona, repetíndose as tomas fotográficas nos anos 2023 e 2024.

O rexistro do cantil de Canexol realizouse mediante fotografía aérea con UAS e fotografías terrestres tomadas cunha cámara réflex. A combinación de ambos métodos foi necesaria para asegurar un rexistro detallado, con tomas baixas realizadas dende a praia e tomas en altura (cenitais, frontais e oblicuas) tomadas dende o aire. Os modelos foron xerados mediante o software Agisoft Metashape© e posteriormente comparados mediante CloudCompare©. Para asegurar o encaixe dos modelos, empregáronse GCPs (Ground Control Points) nas diferentes tomas.

Os resultados obtidos das primeiras comparativas entre modelos, reforzan os datos obtidos visualmente en campo: o cantil sofre dunha continua degradación, principalmente na parte media en la súa base, o que provoca unha acumulación de material -pedra e terra- no fronte (Figura 7). A acción das mareas é especialmente agresiva en puntos específicos, podendo provocar o colapso de parte das estruturas arqueolóxicas.



Figura 7. Distribución das factorías de Canexol. En azul as zonas nas que se detecta maior afección pola acción do mar e das chuvias.

Os traballos de monitorización mediante modelos tridimensionais no xacemento de Canexol serán reforzados nos próximos anos mediante os datos obtidos da análise dos cambios da liña de costa na praia e o análise morfodinámico da mesma, debido á influencia do vento e ás ondadas xeradas polo mesmo. Aportando datos cuantitativos dos axentes de erosión que afectan ao xacemento e permitindo determinar ás razón dunha degradación diferencial en distintos puntos do cantil¹⁷.

4. Resultados

Os traballos realizados nos arquipélagos do Parque Nacional permitiron por en práctica catro métodos diferentes de rexistro do patrimonio cultural. As distintas casuísticas dos bens localizados nas illas –principalmente localización e estado de conservación-, fixeron necesaria unha aproximación diferente aos restos, dividindo os mesmos en dúas categorías: os susceptibles dunha monitorización xeral e os susceptibles dun seguimento en detalle.

O seguimento xeral –fichas de rexistro e fotografías- demostrou ser suficiente na maior parte dos casos estudados, posto que un importante número de bens patrimoniais aínda permanecen en uso (p. ex. o mosteiro de San Estevo e a fábrica de salgadura de Muxieiro en Cíes ou a Igrexa do Curro en Ons) ou se localizan no interior das illas, protexidos dos ventos e mareas. Un rexistro visual dos bens demostrou que a erosión da maior parte é mínima ou imperceptible, con excepción do crecemento natural da vexetación (Figura 8). A situación é diferente no caso dos localizados na costa, tanto aqueles rexistrados en detalle como os monitorizados de forma xeral. Restos arqueolóxicos como a cista neolítica ao norte da illa de Cortegada e a tumba de Laxe do Crego en Ons, presentan una erosión máis pronunciada, cunha evidente perda de material –desgaste e colapso estrutural-, debida en ambos casos á acción das mareas.

¹⁷ GONZÁLEZ-VILLANUEVA, R. *et al.* (2013); LIM, M. *et al.* (2011)

Estes traballos de seguimento en campo permitiron, ademais, ampliar o catálogo de bens coñecidos nas illas. O traballo cos diferentes axentes do parque, coñecedores do patrimonio das illas, aportou gran cantidade de información ao rexistro, permitindo localizar varios bens de difícil acceso e incluso aportar información sobre outros menos coñecidos ou non catalogados. A integración destes bens nos novos catálogos á análise dos riscos aos que están sometidos axudará a súa protección e visibilidade.

A monitorización detallada dos lugares de Canexol, San Matíño de Cíes e areal dos Bois aporta datos cuantitativos sobre a erosión sufrida polos restos conservados nestes tres emprazamentos costeiros. Os datos extraídos da análise visual dos restos son reforzados por modelos a escala real, nos que se pode medir os cambios sufridos por estes bens e as zonas de maior afectación dos mesmos.



Figura 8. Comparativa visual do estado de conservación da ermida e cemiterio de San Xoaquín e o Castelo de Pereiró en Ons.

A variada casuística dos xacementos seleccionados –localización e composición do terreo– fixo necesario deseñar estratexias específicas de rexistro para cada un deles. O LiDAR montado sobre

un UAS foi seleccionado como o método máis adecuado no caso do areal dos Bois, tanto pola extensión da área a rexistrar, a súa morfoloxía máis ben plana e a composición do terreo. Tanto no caso de Canexol coma da Factoría de San Matión, debido á reducida extensión dos restos e a súa localización –no caso de Canexol nun cantil vertical- optouse pola fotogrametría convencional, mediante o uso de UAS (tomas aéreas) e fotografía a nivel de terreo. En ambos casos, debido a vexetación que rodeaba aos restos e a necesidade de tomas de corta distancia, optouse por un rexistro manual e non automatizado.

Os datos obtidos grazas á monitorización en detalle serán reforzados no futuro grazas á colaboración con outros equipos de investigación –xeólogos, oceanógrafos e conservadores-restauradores, entre outros-, que aportarán datos sobre os axentes erosivos que afectan aos bens.

5. Conclusións

O proxecto SENTINELA afonda nunha problemática que afecta a un significativo número de restos patrimoniais localizados nas costas galegas. Os eventos climáticos extremos, principalmente vento e chuvias, así como os cambios na liña da costa, inciden de forma notoria nos xacementos arqueolóxicos e estruturas históricas localizadas no litoral. As técnicas e procedementos de rexistro aquí referidos, aportan solucións para a monitorización da erosión sufrida, podendo realizar estudos comparativos e cuantitativos que permitan identificar as zonas afectadas e tomar medidas para frear ou limitar os axentes de degradación. Un rexistro pormenorizado dos restos permite ademais conservar duplicados dixitais dos xacementos ou bens, que servirán para seu estudo incluso trala perda ou desaparición dos mesmos.

A especial casuística do PNMTIAG e a disposición das autoridades do Parque Nacional OAPN e Xunta de Galicia facilitaron en gran medida a aplicación destes mecanismos de seguimento, creando un campo de traballo excepcional para probar a solvencia dos distintos tipos de rexistros. Os datos obtidos axudaron a incrementar, non so o coñecemento do estado de conservación dos bens patrimoniais das illas, senón tamén o catálogo dos seus bens. Os bos resultados obtidos ata a fecha, así como os riscos detectados nalgúns dos xacementos e bens conservados no litoral,

expuxeron a necesidade de ampliar o número de casos a monitorizar en detalle. Non so para conservar rexistros dos bens, como no caso da cista neolítica de Cortegada, senón tamén para comprender as dinámicas climáticas ás que están expostos os restos en función da parte da illa na que se atopen, como no caso do Muiño da Illa de San Matinho en Cíes Sur. Datos que proporcionaran ao PNMTIAG de medios e ferramentas para protexer e salvagardar estas importantes testemuñas da ocupación humana das illas.

Agradecementos

Os autores deste traballo e responsables do proxecto SENTINELA queremos agradecer ó PNMTIAG e a Consellería de Medio Ambiente e Cambio Climático da Xunta de Galicia o seu apoio para poder desenvolver todas as tarefas programadas. Este proxecto (Ref: 2849S/2022) esta financiado pola convocatoria do OAPN de “Proyectos de investigación científica en la Red de Parques Nacionales para el año 2022”. PVA e ARN contan cun contrato Margarita Salas e AFF conta cunha axuda RyC con Ref.: RYC 2018-024131-I.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, A., Castro, F., Monteiro, A. e Magalhães, I. (2017): “O Naufrágio Quinhentista de Belinho, Esposende. Resultados preliminares”, *Al-madan*, II (21): 80-95.
- Ballesteros-Arias, P., Güimil-Fariña, A. e López-Romero, E. (2013). “Estudo arqueolóxico do Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia. Prospección superficial e vulnerabilidade”, *CAPA*, 33. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Benavides López, J. A., Martín Civantos, J. M. e Rouco Collazo, J. (2020): “Architectural survey and archaeological analysis of the Piñar Castle as a starting point for its conservation”, *Virtual Archaeology Review*, 11(22). <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/var.2020.12397>
- Blanco-Chao, R., Costa-Cascais, M., Rey-García, J. M. e Vilaseco Vázquez, X. (2015): “Erosión costera en yacimientos arqueológicos: Guidoiro Areoso, Ria de Arousa, Galicia”, *Geo-Temas*, 15:1–5.
- Colette, A. (dir.) (2009): *Estudios de caso: cambio climático y patrimonio mundial*, París, UNESCO.
- De Fino, M., Galantucci, R. A. e Fatiguso, F. (2023): “Condition Assessment of Heritage Buildings via Photogrammetry: A Scoping Review from the Perspective of Decision Makers”, *Heritage*, 6(11):7031-7067. <https://doi.org/10.3390/heritage6110367>
- Fernández Fernández, A., Valle Abad, P. e Rodríguez Nóvoa, A.A. (2022a): “3D photogrammetry as a tool for studying erosive processes at a Roman coastal site: the case of the Roman fish-salting plant at Sobreira (Vigo, Spain)”, *Archaeological And Anthropological Sciences*, 14(2). <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01508-3>
- Fernández Fernández, A., Rodríguez Nóvoa, A.A., Valle Abad, P. e Ruanova Álvarez, N. (2022b): La factoría de salazón romana de Praia do Naso (Illa de Arousa, Pontevedra), *Minius*, 26:137-161,
- Fernández Fernández, A., Ruanova Álvarez, N., Méndez Otero, R. e García Cabo, M. (2022c): “Nuevos datos sobre la ocupación antigua en la isla de Sálvora (Ribeira): resultados de la intervención arqueológica en el yacimiento romano del Areal dos Bois”, *Minius*, 27:11–31.

- García Hermida, A. (2021). “Patrimonio y cambio climático”, en González-Varas Ibáñez, I. e Casasola Gómez, M.G. (coords.): *Buenas prácticas en conservación y revitalización del patrimonio cultural desde los ODS (revista PH 104, especial monográfico)*, Sevilla, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico: 392-399. <https://doi.org/10.33349/2021.104.5013>
- González-Alemparte Fernández, J. (2003). *Crónicas históricas de la islas Cíes*. Betanzos, Briga Edicións.
- González-Villanueva, R., Costas, S., Prez-Arlucea, M., Jerez, S. e Trigo, R. (2013): “Impact of atmospheric circulation patterns on coastal dune dynamics, NW Spain”, *Geomorphology*, 185:96-109. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.019>
- Khalid, A. (2022): “Conservation Challenges and Emerging Trends of Digital Preservation for UNESCO Architectural Heritage, Pakistan”, *Conservation*, 2(1):26-37. <https://doi.org/10.3390/conservation2010003>
- Kong, X. (2021): “Identifying Geomorphological Changes of Coastal Cliffs through Point Cloud Registration from UAV Images”, *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163152>
- Kong, X. e Hucks, R. G. (2023): “Preserving our heritage: A photogrammetry-based digital twin framework for monitoring deteriorations of historic structures”, *Construction*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104928>
- Lim, M., Rosser, N. J., Petley, D. N. e Keen, M. (2011). “Quantifying the Controls and Influence of Tide and Wave Impacts on Coastal Rock Cliff Erosion”, *Journal Of Coastal Research*, 27:46-56. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-09-00061.1>
- López-Romero, E., Mañana-Borrazas, P., Güimil-Fariña, A. e Daire, M.Y. (2016). “Archaeology and coastal erosion: monitoring change through 3D digital techniques”. En Kamermans, H., de Neef, W., Piccoli, C., Posluschny, A. G. e Scopigno R. (Eds.): *The Three Dimensions of Archaeology. Proceedings of the XVII UISPP World Congress* (pp.89-97), Burgos: Archaeopress.

- Loureiro, E. (2007): *Indicadores geomorfológicos e sedimentológicos na avaliação da tendência evolutiva da zona costeira: aplicação ao concelho de Esposende*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho.
<https://hdl.handle.net/1822/7096>
- Mahmoud, A.M.A., Hussain, E., Novellino, A., Psimoulis, P. e Marsh, S. (2021): “Monitoring the Dynamics of Formby Sand Dunes Using Airborne LiDAR DTMs”, *Remote Sens*, 13.
<https://doi.org/10.3390/rs13224665>
- Martens, V. V. e Krangnes, L. (2022): “Monitoring as a tool to evaluate preservation possibilities. Results from the CULTCOAST project. *Frontiers*”, *Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.960420>
- Nagihara, S., Mulligan, K.R. e Xiong, W. (2004): “Use of a three-dimensional laser scanner to digitally capture the topography of sand dunes in high spatial resolution”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(3):391-398. <https://doi.org/10.1002/esp.1026>
- Nance, D.A. (2024): “Holme I (Seahenge) and Holme II: ritual responses to climate change in Early Bronze Age Britain”, *GeoJournal*, 89(2). <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11088-5>
- Obanawa, H. e Hayakawa, Y. S. (2018): “Variations in volumetric erosion rates of bedrock cliffs on a small inaccessible coastal island determined using measurements by an unmanned aerial vehicle with structure-from-motion and terrestrial laser scanning”, *Progress In Earth And Planetary Science*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0191-8>
- Solazzo, D., Sankey, J.B., Sankey, T.T. e Munson, S.M. (2018). Mapping and measuring aeolian sand dunes with photogrammetry and LiDAR from unmanned aerial vehicles (UAV) and multispectral satellite imagery on the Paria Plateau, AZ, USAM, *Geomorphology*, 319:174-185.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.07.023>
- Von Schorlemer, S. (2020): “UNESCO and the Challenge of Preserving the Digital Cultural Heritage”, *Santander Art and Culture Law Review*, 2: 33-64
- Wiseman, A. L., Vicari, D., Belvedere, M. e De Groote, I. (2022): “Neolithic track sites from Formby Point, England: New data and insights”, *Journal Of Archaeological Science*:

Reports/Journal Of Archaeological Science: Reports, 44.

<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103546>