

Designação do Projeto 	Conjugação do registo sedimentar onshore e o offshore de tsunamis
Código do Projeto 	PTDC/CTA-GEO/28941/2017 - ALG-01-0145-FEDER-028941
Objetivo Principal 	Reforçar a investigação, o desenvolvimento tecnológico e a inovação
Região de Intervenção 	Lisboa e Algarve
Entidade Beneficiária 	FCiências.ID – Associação para a Investigação e Desenvolvimento de Ciências, Instituto Hidrográfico e Universidade do Algarve
Data de Aprovação 	27-06-2018
Data de Início 	01-09-2018
Data de Conclusão 	28-02-2022
Custo Total Elegível 	232.768,33€
Apoio Financeiro da União Europeia 	FEDER – 4.249,92€
Apoio Financeiro Público Nacional/ Regional 	OE – 228.518,41€

Objetivos

The main aim of this project is to fully reconstruct tsunami events based in geological evidences. To achieve this purpose a combination of intersecting onshore and offshore sedimentological studies and numerical modelling will be conducted focusing in the south Portuguese coast. Based in the knowledge of Algarve's Late Holocene onshore coastal stratigraphy - previously obtained by the research team on studies focusing on the AD 1755 tsunami – this project will track down the shallow offshore signatures of this event and will investigate other older tsunami events (undetected so far at the coast with its present sea-level). We hope to better define recurrence intervals for these

events by extending the chronological analysis to the entire Holocene epoch.

This study is particularly well-timed because there is a need for rigorous tsunami hazard assessment and of its potential natural impacts and societal costs. In areas with low frequency of tsunamis (e.g. Atlantic coast of Europe) the accurate definition of coastal risk requires geological analysis that can contribute to the definition of return periods, run-up, number of inundation phases, inundation routes and inland limit, and to the quantification of sediment volume transported inland and offshore. Only by fully recreating tsunami inundation and backwash phases we will be able to entirely assess the resilience of coastal systems to these natural catastrophes. This is another internationally innovative and ground-breaking contribution this project can provide departing from the study of the most destructive tsunami that have impinged the Atlantic coasts of Europe in historical times (AD 1755).

A multi-disciplinary sedimentological approach will be implemented in OnOff both the onshore and offshore depositional record and will involve the high-resolution application of techniques such as grain-size, heavy mineral studies, magnetic susceptibility, microtextural, micropalaeontological and geochemical (XRF and biomarkers) analysis, CT-scan and x-ray imaging. Furthermore, the erosional imprint in sand barriers will be studied by combining ground penetrating radargrams with the establishment of a detailed chronological



framework. Placed together, this data will certainly provide new insights in the understanding of tsunami inundation and backwash processes.

Atividades

1. Compiling pre-existing data
2. Onshore record – depositional
3. Onshore record – erosional
4. Offshore record – depositional
5. Numerical modelling
6. Integration of results
7. Outreach

Resultados Esperados / Atingidos

Globalmente o projecto OnOff - PTDC/CTA-GEO/28941/2017 - atingiu os objectivos científicos previstos inicialmente para o projecto apesar de alguns condicionamentos devido à situação pandémica. Tal provocou várias limitações no trabalho de campo, acesso a laboratórios e reuniões presenciais durante parte do ano de 2020 e de 2021. Nesse sentido o projecto foi extendido por 6 meses sobre a data inicialmente prevista para a conclusão do projecto (31 de Agosto de 2021).

Apesar desses constrangimentos, a equipa de investigação manteve um percurso consistente e foi cumprindo ou ajustando a linha de investigação delineada inicialmente para prossecução dos trabalhos. Tal apenas foi possível devido a uma ligação estreita entre a equipa científica e também ao empenho de todos os que participaram ou colaboraram com o projecto OnOff.

Do ponto de vista científico, o projecto OnOff tinha três objectivos principais:

- a) reconstruir eventos de tsunamis com base em evidências geológicas.
- b) combinar dados sedimentológicos onshore e offshore e realizar modelação numérica na costa sul portuguesa.
- c) definir intervalos de recorrência para estes eventos tsunamigénicos holocénicos.

Analisando do ponto de vista das respostas científicas obtidas podemos considerar que o Projecto OnOff atingiu, e até superou, os objectivos que definiu inicialmente. Relativamente ao ponto a) (reconstruir eventos de tsunamis com base em evidências geológicas) através da utilização de diversas metodologias inovadoras, mas acima de tudo do aumento de resolução da amostragem, foi possível definir com rigor diferentes fases de inundação e backwash para os eventos observados. Tal foi atingido quer para amostras obtidas em terra, quer para amostras obtidas na zona da plataforma algarvia. Este objectivo foi atingido devido à combinação de um conjunto de técnicas quer texturais (granulometrias), microtexturais (imagens ao microscópio electrónico de varrimento), composicionais (morfoscopia e mineralogia), geoquímicas inorgânica (XRF e XRD) e orgânica, arquitectura deposicional (imagens obtidas através de TACs e raios-x), micropaleontologia (foraminífera, ostracoda e pollen), geofísica (georadar), etc. Tal apenas foi possível pela extensa recolha de amostras realizada, quer nas zonas lagunares e estuarinas do Algarve, quer na zona da plataforma algarvia (principalmente entre Sagres e Portimão). Merece particular destaque o carácter pioneiro da aplicação de algumas destas metodologias. Finalmente, salienta-se ainda a contribuição decisiva que estes dados deram para a validação dos modelos numéricos de geração, propagação e inundação tsunamigénica.

A comprovar o que acima se descreve realça-se a longa lista de publicações em revistas indexadas à Scopus do projecto (superando as 6 propostas inicialmente), a participação em congressos (mais de triplicando o valor proposto inicialmente) e até na herança que este projecto deixa e que permitiu que alguns membros da equipa científica tenham obtidos fundos através de diversos concursos competitivos em países europeus (e.g. NorSeat financiado pelo governo belga) e onde vai ser aplicada uma metodologia semelhante.

No que diz respeito à tarefa b) (combinar dados sedimentológicos onshore e offshore e realizar modelação numérica na costa sul portuguesa) foi possível realizar trabalhos pioneiros nesta temática onde foram comparados modelos regressivos e modelos preditivos ou outros trabalhos onde foi possível analisar qual o mecanismo de geração e o seu local mais provável através da validação de dados de campo com a modelação efectuada. Salienta-se que foram utilizados essencialmente os modelos numéricos da Deltares Inc., nomeadamente Xbeach and Delft3D. A robustez destes modelos é conhecida internacionalmente e a prática adquirida na sua aplicação tem permitido estender a sua aplicação a outros projectos como por exemplo o Roteiro Nacional para a Adaptação às Alterações Climáticas, promovido pela Agência Portuguesa do Ambiente e onde elementos do OnOff participam precisamente para modelarem cenários de inundação costeira para

2030, 2070 e 2100. Tal também foi possível pelo apoio financeiro que o projecto OnOff deu para a realização de cursos de formação sobre estes softwares, enriquecendo o conhecimento da equipa de projecto e agora deixando uma herança para outros projectos. Também neste objectivo merecem destaque as publicações realizadas e as participações em congressos nacionais e internacionais.

Finalmente, o último objectivo científico c) (definir intervalos de recorrência para este eventos tsunamigénicos holocénicos) foi alcançado, principalmente, beneficiando do registo litoestratigráfico da plataforma algarvia. Nesse arquivo sedimentar, foi possível identificar não apenas o evento de 1755 mas também um outro evento que terá ocorrido há cerca de 3400 cal BP e que apresenta um conjunto de aspectos típicos de depósitos de tsunami. Desta forma, o período de retorno para tsunamis que afectem o sudoeste peninsular é redefinido com base nestes dados.

Apesar de o projecto ter mantido o seu foco no registo sedimentar de eventos extremos, foi possível utilizar os dados recolhidos (nomeadamente) sondagens para enriquecer um conjunto alargado de temas científicos relevantes (desde a poluição contemporânea no Algarve, às crises climáticas de 8.2 ka, a processos relacionados com a percepção do risco, etc.). Para além deste extender de aplicação dos dados do projecto, salienta-se a sua capacidade geradora de sinergias que levaram a que projectos subsequentes fossem financiados – desde experiências empíricas em tanques de ondas (Financiado por RTWH Aachen - Von Karman Award - Alenhanha), a projectos financiados pela FAPERJ (Brasil) para estudar depósitos de tsunami na zona nordeste do Brasil ou o projectos EEA Grant (APA Portugal) para modelar os efeitos de tempestades em zonas costeiras, projecto TsunaStorm (Polónia) que estuda a presença de DNA em foraminífera que estejam arquivados nos depósitos de tsunami ou tempestade, projecto NorSeat (Bélgica) que irá estudar depósitos de tsunami na plataforma escocesa, projecto Storm (Açores, Portugal) que pretende estudar eventos de tempestades. Para além destes projectos que contam com a participação do PI e de outros membros da equipa OnOff, salientam-se ainda projectos e publicações na temática das ciências sociais na questão da percepção ao risco de tsunami, quer na população em geral, quer na população em idade escolar. Todos estes projectos, têm a participação de membros do projecto OnOff como líderes de tarefas. Estes projectos envolvem verbas superiores a 3 milhões de euros, sendo que cerca de 1 milhão de euros foi alocado para as tarefas que a equipa OnOff lidera. Desta forma, para além das publicações e da participação em congressos nacionais e internacionais, comprova-se a herança do projecto, o seu efeito multiplicador e de criação de sinergias e redes internacionais.

Gostaríamos, ainda, de reforçar a importância que a formação de jovens investigadores teve para o projecto. A lista de alunos de licenciatura, mestrado e doutoramento, bem como de investigadores pós-doutorados que beneficiaram do apoio do projecto é extensa e encontra-se em baixo. A quantidade e qualidade do trabalho produzido por todos eles atesta também a excelência do projecto OnOff.

Por último, uma palavra sobre a componente societal, quer de ligação às instituições que gerem a costa portuguesa, quer ao público em geral. A estreita ligação com a Agência Portuguesa do Ambiente, com a CM de Vila do Bispo, com a CM de Castro Marim, com o próprio Instituto Hidrográfico permitiu que os nossos dados fossem escrutinados, disponibilizados e, eventualmente, incorporados pelos decisores costeiros.

No que diz respeito às acções de divulgação elas quintuplicaram os objectivos estabelecidos inicialmente para o projecto. Desde a criação do site, canal de YouTube, participação por convite em Webinars, palestras em escolas, acções no âmbito da Noite Europeia dos Investigadores, etc. foram diversas as acções realizadas e que se listam em baixo.

Para concluir, este sumário e no balanço crítico que fazemos, consideramos que o o projecto OnOff - PTDC/CTA-GEO/28941/2017 - atingiu e até superou os objectivos propostos.

De forma sumária, e percorrendo as sete tarefas do projecto, caracterizamos em baixo os progressos alcançados ao longo do segundo ano do projecto OnOff.

Tarefa 1 - Compilação de dados pré-existentis - Tarefa completada no primeiro ano do projecto. Salienta-se, no entanto, a permanente e persistente actualização e manutenção da base de dados curada sobre depósitos de tsunami no Atlântico -<http://tsunami.campus.ciencias.ulisboa.pt/>

Tarefa 2 - Registo onshore deposicional – Foi feita a descrição e caracterização de um novo depósito de tsunami em Almargem (Loulé). Um outro novo depósito foi detectado também na zona da Praia Verde (Castro Marim) estando a ser estudado e a serem realizados alguns exercícios de modelação numérica. Ambos os casos encontram-se associados a teses de mestrado (Vasco Carvalho – Geologia, FCUL; Ricardo Henriques – Departamento de Ciências da Terra, UC). Participações em congressos internacionais já apresentaram alguns resultados preliminares. Duas publicações encontram-se em preparação.

Outros locais continuam a ser estudados (e.g. Martinhal, Boca do Rio, Salgados, Alcantarilha, Tavira, etc) quer alguns casos já descritos anteriormente mas agora analisados à luz de novas metodologias (por exemplo, Martinhal com dados de DNA, imagens de tac's ou raios-x processadas através de algoritmos de análise de imagem) ou de aplicações renovadas em metodologias mais tradicionais (e.g. Tavira - minerais pesados e morfoscopia).

Os dados recolhidos constituem um acervo único a nível europeu e que tem servido para fomentar diversas colaborações e outros projectos internacionais com o envolvimento do PI e de diversos membros da equipa de investigação. De tal forma, este é o caso que as colaborações para análise de TACs (Univ Clermont Auvergne, França) e DNA (Univ Poznan, Polónia) encontram-se em fase de preparação de manuscritos para apresentar resultados que se afiguram ser de relevância internacional.

O foco espacial do projecto OnOff tem sido o Algarve e as zonas lagunares e estuarinas que têm potencial de preservação de depósitos de tsunamis. Neste aspecto a opção tem sido pelo incremento do detalhe e resolução observacional para permitir uma reconstrução mais detalhada de eventos tsunamigénicos. De forma sumária, consideramos que esta tarefa foi concluída com sucesso. O ligeiro atraso na publicação dos resultados de Almagem deve-se exclusivamente à demora dos resultados de datação OSL, devido a um problema com o laboratório em Burgos (Espanha).

Tarefa 3 - registo erosivo onshore - Esta tarefa consistiu essencialmente num conjunto de campanhas de campo e posterior interpretação de dados obtidos através da utilização de georadar em zonas dunares da costa portuguesa. No âmbito desta tarefa, foi realizada uma campanha de campo na região do Algarve e costa de Espanha onde foram realizados 26 perfis em zonas dunares. Foram observados locais adjacentes a depósitos de tsunamis conhecidos (e.g. Martinhal) e explorados alguns locais novos (El Rompido, Bordeira, Alvor, Tavira) que após observação geomorfológica ofereciam potencial de interesse para os objectivos desta tarefa. Os resultados obtidos foram sumariados num relatório interno, que virá a ser disponibilizado no site do projecto. Este trabalho comprovou o potencial da utilização do georadar como ferramenta muito relevante para a análise das assinaturas erosivas de eventos extremos. No entanto, dada a dinâmica dunar de algumas destas zonas (até perturbadas pelo homem) e a necessidade do estabelecimento de uma cronologia fina para esta análise, os dados desta tarefa servirão para alimentar/complementar alguns dos trabalhos descritos nas tarefas 2 e 4.

De qualquer forma, o projecto OnOff aplicou metodologias inovadoras noutras zonas do país, nomeadamente ao longo da costa entre Lisboa e Aveiro. Tal foi feito no âmbito de uma colaboração e publicação com colegas da Univ Aldo Moro (Bari, Itália) e focou-se na utilização de redes neuronais e inteligência artificial para estabelecer alturas de ondas de tempestade e furacões através de análise de imagens de vídeo. Esta abordagem oferece uma solução para a obtenção de dados de parâmetros físicos de eventos contemporâneos.

Tarefa 4 - Registo deposicional onshore - Esta tarefa constituiu o principal aspecto inovador deste projecto. Fruto de diversas colaborações nacionais e internacionais tem sido possível produzir uma robusta e singular recolha de dados na plataforma interna algarvia. Estes dados têm servido para mapear os depósitos detectados mas também para conhecer melhor a plataforma e talude do Algarve. De forma sumária, os resultados obtidos nesta tarefa permitem abrir novos horizontes científicos no estudo de depósitos de tsunamis. Para além da campanha que decorreu a bordo do navio de investigação alemão RV-Meteor (Missão M-152), onde foi recolhida informação sobre a estratigrafia da plataforma central e ocidental do Algarve através da recolha de dados geofísicos de alta resolução e de um conjunto alargado de sondagens geológicas. A recolha e posterior análise desses dados permitiu uma nova definição de períodos de retorno para o sudoeste peninsular. Salienta-se ainda a campanha de aquisição de dados de sísmica e batimetria que decorreu em Janeiro de 2020 em colaboração com membros da equipa (FCUL, IH, Aachen) e a universidade de Ghent. Tal campanha visou mapear, a profundidades menores (até 30m), o depósito detectado na campanha que decorreu a bordo do RV-Meteor no primeiro ano do projecto. Esta campanha que decorreu a bordo do NRP Fisália foi um sucesso pois permitiu confirmar a extensão espacial do depósito e desta forma salientar o seu carácter peculiar e de extrema importância para a definição de períodos de retorno para esta zona da Ibéria.

Finalmente, a abordo do navio de investigação belga RV Belgica II (Missão 13) foi completada a cobertura total da plataforma algarvia (do Guadiana a Sagres) a profundidades entre os 30 e os 500m com recolha de dados geofísicos de alta resolução que permitem calibrar a estratigrafia holocénica desta zona e determinar os eventos extremos nessas sequências sedimentares.

Esta tarefa foi a que maior sucesso e reconhecimento internacional trouxe ao projecto. Apesar de algum atraso nalgumas das publicações associadas a estas campanhas de mar, o que acima se descreve, permite um optimismo moderado com a perspectiva de publicações de alto factor de impacto nos tempos mais próximos.

Tarefa 5 - Modelação numérica - inúmeros progressos foram alcançados com modelação numérica inversa e "forward" que permitiram integrar estes resultados em discussões mais vastas inclusive sobre a zona epicentral do sismo de 1755. Os artigos apublicados atestam a importância do que já foi alcançado. Finalmente, o desenvolvimento de um modelo conceptual para deposição de evidências de tsunamis no offshore encontra-se completo. Aguardando-se a sua publicação ainda 2022.

A Tarefa 6 - Integração de resultados – Esta tarefa sumariou os resultados e permitiu fazer uma integração mais holística dos mesmos. Do que acima se descreveu, das publicações produzidas podemos concluir que os resultados obtidos são relevantes científica e socialmente.

A Tarefa 7 - Disseminação – esta tarefa foi uma das preocupações mais intensas da equipa de investigação. O Webinar final do projecto e a participação de mais de 70 investigadores comprovam o interesse que o projecto suscitou e que se traduziu também em mais de duas dezenas de referências em meios de comunicação social. Para além disso, foram inúmeras as acções de disseminação de conhecimento junto da sociedade civil, nomeadamente de escolas. O site do projecto também foi uma ferramenta fundamental para a divulgação do projecto. Por último salienta-se a colaboração com os investigadores do Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra que permitiram quantificar a percepção aos riscos costeiros e tsunamigénicos, em particular. A listagem das participações realizadas no âmbito do OnOff encontra-se em baixo.

Como conclusão, consideramos que o projecto OnOff - PTDC/CTA-GEO/28941/2017 decorreu, genericamente, de acordo com o calendário de acções proposto inicialmente. Consideramos ainda que os resultados científicos alcançados, os dados bibliométricos de produtividade atingidos, o impacto na formação de jovens investigadores, as sinergias nacionais e internacionais cimentadas e, ainda, a contribuição societal de relevo permitem-nos concluir este projecto com a satisfação do dever cumprido e com agrado verificarmos que as hipóteses científicas que procurámos testar ao longo do projecto, foram comprovadas com sucesso.

OnOff sites:

<https://onoff.rd.ciencias.ulisboa.pt/>

https://www.youtube.com/watch?v=VFZBSbrA_XM&t=26s

<https://tsunami.campus.ciencias.ulisboa.pt/>

