

## **Aviso de Abertura do Concurso para Atribuição de Bolsas de Investigação para Doutoramento**

O Instituto Dom Luiz da Universidade de Lisboa (IDL) abre concurso para atribuição de 6 (seis) bolsas de investigação, adiante designadas por Bolsas de Investigação para Doutoramento, nas áreas de Geologia, Ciências Geofísicas e da Geoinformação, e Sistemas Sustentáveis de Energia, ao abrigo do Regulamento de Bolsas de Investigação da FCT (RBI) e do Estatuto do Bolseiro de Investigação (EBI).

As bolsas serão financiadas pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) ao abrigo do Protocolo de Colaboração para Financiamento do Plano Plurianual de Bolsas de Investigação para Estudantes de Doutoramento, celebrado entre a FCT e a UIDP/50019/2020 - Instituto Dom Luiz,

### **1. APRESENTAÇÃO DE CANDIDATURA**

O concurso está aberto entre 1 de março de 2021 e as 17 h 00 (hora de Lisboa) de 31 de março de 2021. As candidaturas e os documentos de suporte à candidatura previstos no presente Aviso de Abertura de Concurso devem ser submetidos, obrigatoriamente, por correio eletrónico enviado/submetido para: [candidaturas@ciencias.ulisboa.pt](mailto:candidaturas@ciencias.ulisboa.pt)

Cada candidato poderá submeter apenas uma candidatura, sob pena de cancelamento de todas as candidaturas submetidas.

A prestação de falsas declarações ou a realização de atos de plágio por parte dos candidatos é motivo para cancelamento da candidatura sem prejuízo da adoção de outras medidas de natureza sancionatória.

### **2. TIPO E DURAÇÃO DAS BOLSAS**

As bolsas de investigação para doutoramento destinam-se a financiar a realização, pelo bolseiro, de atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor em universidades portuguesas.

As atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor decorrerão no IDL, a qual será a instituição de acolhimento dos bolseiros, sem prejuízo dos trabalhos poderem ser realizados em colaboração entre mais do que uma instituição.

As atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor dos bolseiros selecionados devem estar enquadradas no plano de atividades e estratégia do IDL, e devem ser desenvolvidas no âmbito dos seguintes Programas de doutoramento:

- Programa de doutoramento em Geologia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Programa de doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Programa de doutoramento em Sistemas Sustentáveis de Energia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

O plano de trabalhos poderá decorrer integralmente ou de forma parcial numa instituição nacional (bolsa no país ou bolsa mista, respetivamente).

A duração das bolsas é, em regra, anual, renovável até ao máximo de quatro anos (48 meses), não podendo ser concedida bolsa por um período inferior a 3 meses consecutivos.

No caso de bolsa mista, o período do plano de trabalhos que decorra numa instituição estrangeira não pode ser superior a 24 meses.

### **3. DESTINATÁRIOS DAS BOLSAS**

As Bolsas de Investigação para Doutoramento destinam-se a candidatos inscritos ou a candidatos que satisfaçam as condições necessárias para se inscreverem num dos Programas de Doutoramento constantes no ponto 2 do presente Aviso e que pretendam desenvolver atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor na UIDP/50019/2020 – IDL ou em instituições de acolhimento a ela associadas.

### **4. ADMISSIBILIDADE**

#### **4.1 Requisitos de Admissibilidade do Candidato**

Podem candidatar-se ao presente concurso:

- Cidadãos nacionais ou cidadãos de outros Estados membros da União Europeia;
- Cidadãos de Estados terceiros;
- Apátridas;
- Cidadãos beneficiários do estatuto de refugiado político.

Para concorrer a Bolsa de Investigação para Doutoramento é necessário:

- Ser licenciado ou mestre nas áreas de Geologia, Ciências Geofísicas e da Geoinformação, e Sistemas Sustentáveis de Energia;
- Residir em Portugal de forma permanente e habitual, caso o plano de trabalhos associado à bolsa decorra, parcialmente, em instituições estrangeiras (bolsas mistas), requisito aplicável tanto a cidadãos nacionais como a cidadãos estrangeiros.
- Não ter beneficiado de uma bolsa de doutoramento ou de doutoramento em empresas diretamente financiada pela FCT, independentemente da sua duração.

#### **4.2 Requisitos de Admissibilidade da Candidatura**

É indispensável, sob pena de não admissão ao Concurso, anexar à candidatura os seguintes documentos:

- Elementos do bilhete de identidade/cartão de cidadão/passaporte;
- Curriculum vitae do candidato;
- Certificados de habilitação dos graus académicos detidos, especificando obrigatoriamente a classificação final e, se possível, as classificações obtidas em todas as disciplinas realizadas, ou, em alternativa, declaração de honra do candidato em como concluiu o grau de licenciado ou mestre até ao final do prazo de candidatura;
- Registo de reconhecimento dos graus académicos atribuídos por instituições de ensino superior estrangeiras e registo da conversão da respetiva classificação final para a escala de classificação portuguesa, ou, em alternativa, declaração de honra do candidato em como

obteve o reconhecimento do grau estrangeiro equivalente ao de licenciado ou mestre até ao final do prazo de candidatura;

- Carta de motivação, justificando a adequação do perfil do candidato ao plano de trabalho proposto;
- Contatos de referências (dois)
- Redigir a candidatura e todos os documentos a ela associados, incluindo as cartas de motivação e recomendação, em língua portuguesa ou em língua inglesa.

Relativamente aos requisitos de admissibilidade acima mencionados faz-se notar o seguinte:

- No caso de graus académicos atribuídos por instituições de ensino superior estrangeiras, e por forma a garantir a aplicação do princípio da igualdade de tratamento a candidatos que detêm graus académicos estrangeiros e nacionais, é obrigatório o reconhecimento desses graus e a conversão da respetiva classificação final para a escala de classificação portuguesa. O reconhecimento de graus académicos e diplomas estrangeiros bem como a conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa pode ser requerido em qualquer instituição de ensino superior pública, ou na Direção-Geral do Ensino Superior (DGES, apenas para o caso do reconhecimento automático). Relativamente a esta matéria, sugere-se a consulta do portal da DGES através do seguinte endereço: <http://www.dges.gov.pt>.
- Só serão admitidos candidatos que tenham concluído o ciclo de estudos conducente ao grau de licenciado ou mestre até ao final do prazo de candidatura. Caso ainda não disponham da certidão de conclusão de curso, será aceite declaração de honra dos candidatos em como concluíram as habilitações necessárias para efeitos do concurso até ao final do prazo de candidatura. A concessão da bolsa está sempre dependente da apresentação dos comprovativos da titularidade das habilitações académicas necessárias à concessão da bolsa.

## **5. PLANOS DE TRABALHO E ORIENTAÇÃO CIENTÍFICA DAS BOLSAS**

Os planos de trabalho e respetivos orientadores científicos são os apresentados no documento em anexo a este Aviso.

## **6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO**

A avaliação tem em conta o mérito do candidato e a sua adequação ao plano de trabalho. A cada plano de trabalho será atribuída, no máximo, uma bolsa.

Caso o júri opte por realizar a entrevista de seleção, a mesma será realizada aos 12 (doze) candidatos com melhor classificação na avaliação curricular e avaliação da carta de motivação (no caso de vários candidatos escolherem o mesmo plano de trabalho, só serão selecionados os dois melhores para entrevista e atribuída uma única bolsa).

As candidaturas consideradas admissíveis serão pontuadas numa escala de 0 a 5 em cada um dos seguintes critérios de avaliação:

- Critério A – Avaliação curricular, com o peso de 55%
- Critério B – Adequação ao plano de trabalho
  - Subcritério B1 – Carta de motivação, com o peso de 15%
  - Subcritério B2 – Entrevista, com o peso de 30%

Para efeitos da decisão sobre a concessão de bolsas, os candidatos serão ordenados de acordo com a média ponderada da classificação obtida em cada um dos 3 critérios, traduzida pela seguinte fórmula:

$$\text{Classificação final} = 0.55 \times A + 0.15 \times B1 + 0.30 \times B2$$

Para efeitos de desempate, a ordenação dos candidatos será efetuada com base nas classificações atribuídas a cada um dos critérios de avaliação pela seguinte ordem de precedência: critério B2, critério A, critério B1.

Aviso importante para candidatos com diplomas emitidos por instituições de ensino superior estrangeiras:

- Os candidatos com diplomas emitidos por instituições de ensino superior estrangeiras podem candidatar-se e serão avaliados com os mesmos critérios que os candidatos com diplomas emitidos por instituições portuguesas, desde que apresentem, em candidatura, prova do reconhecimento dos graus académicos e da conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa nos termos da legislação aplicável.
- Os candidatos com diplomas estrangeiros que não apresentem prova da conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa serão avaliados com a classificação mínima (zero pontos) no critério A.
- Em qualquer caso, os contratos de bolsa com candidatos com diplomas emitidos por instituições estrangeiras só serão celebrados mediante a apresentação da prova de reconhecimento dos graus académicos e conversão da classificação final, conforme acima indicado.

Não são elegíveis para concessão de bolsa os candidatos cuja candidatura seja avaliada com uma classificação final inferior a 5 pontos.

## **7. AVALIAÇÃO**

O painel de avaliação dos candidatos é constituído pelos seguintes elementos:

- Rui Taborda, IDL/FCUL (coordenador do painel)
- Ana Russo, IDL /FCUL
- João Serra, IDL/FCUL
- Jorge Relvas, IDL/FCUL
- João Cabral, IDL/FCUL

O painel de avaliação apreciará as candidaturas de acordo com os critérios de avaliação constantes do presente Aviso de Abertura de Concurso, ponderando os elementos de apreciação.

Todos os membros de painel, incluindo o coordenador, estabelecem o compromisso de respeitar um conjunto de responsabilidades essenciais ao processo de avaliação, tais como os deveres da imparcialidade, da declaração de quaisquer potenciais situações de conflito de interesses e da confidencialidade. Em todos os momentos do processo de avaliação, a confidencialidade é totalmente protegida e assegurada de modo a garantir a independência de todos os pareceres produzidos.

Os membros de painel, incluindo o coordenador, não podem ser orientadores ou coorientadores de candidatos com candidaturas submetidas ao concurso. Para cada candidatura será produzida, pelo painel, uma ficha de avaliação final onde de forma clara, coerente e consistente sejam apresentados

os argumentos que conduziram às classificações atribuídas a cada um dos critérios e subcritérios de avaliação.

Das reuniões do painel de avaliação será produzida ata da responsabilidade de todos os seus membros. A ata e os seus anexos devem incluir, obrigatoriamente, a seguinte informação:

- Nome e afiliação de todos os membros do painel de avaliação;
- Identificação de todas as candidaturas excluídas e respetiva fundamentação;
- Fichas de Avaliação Final de cada candidato;
- Lista provisória de classificação e seriação dos candidatos, por ordem decrescente da classificação final, de todas as candidaturas avaliadas pelo painel;
- Declarações de CDI de todos os membros do painel;
- Eventuais delegações de voto e competências por motivo de ausência justificada.

## **8. DIVULGAÇÃO DE RESULTADOS**

Os resultados da avaliação são comunicados via e-mail para o endereço de correio eletrónico utilizado pelo candidato para remessa da candidatura/indicado na candidatura.

## **9. PRAZOS E PROCEDIMENTOS DE AUDIÊNCIA PRÉVIA, RECLAMAÇÃO E RECURSO**

Após comunicação da lista provisória dos resultados da avaliação, os candidatos dispõem de um período de 10 dias úteis para, querendo, se pronunciarem em sede de audiência prévia de interessados, nos termos dos artigos 121º e seguintes do Código do Procedimento Administrativo.

A decisão final será proferida após a análise das pronúncias apresentadas em sede de audiência prévia de interessados. Da decisão final pode ser interposta reclamação no prazo de 15 dias úteis, ou, em alternativa, interposto recurso no prazo de 30 dias úteis, ambos contados a partir da respetiva notificação. Os candidatos que optarem por submeter reclamação devem dirigir a sua pronúncia ao membro do Conselho Diretivo da FCT com competência delegada. Os candidatos que optarem por apresentar recurso devem dirigir o mesmo ao Conselho Diretivo da FCT.

## **10. REQUISITOS DE CONCESSÃO DE BOLSA**

Os contratos de bolsa de investigação são celebrados diretamente com a FCT. Os seguintes documentos terão de ser obrigatoriamente remetidos, aquando da eventual concessão da bolsa, para efeitos da sua contratualização:

- a) Cópia do(s) documento(s) de identificação civil, fiscal e, quando aplicável, de segurança social<sup>1</sup>;
- b) Cópia dos certificados de habilitações dos graus académicos detidos;
- c) Apresentação do registo de reconhecimento dos graus académicos estrangeiros e conversão das respetivas classificações finais para a escala de classificação portuguesa, caso aplicável;

---

<sup>1</sup> A disponibilização destes documentos pode ser substituída, por opção do candidato, pela apresentação presencial na entidade financiadora, a qual guardará os elementos constantes dos mesmos que sejam pertinentes para a validade e execução do contrato, incluindo os números de identificação civil, fiscal e de segurança social, bem como a validade dos respetivos documentos.

- d) Documento comprovativo de matrícula e inscrição num dos Programas de Doutoramento identificados no presente Aviso;
- e) Declaração do(s) orientador(es) assumindo a responsabilidade pela supervisão do plano de trabalhos, nos termos do artigo 5.º-A do Estatuto do Bolseiro de Investigação (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT);
- f) Documento comprovativo de aceitação do candidato por parte da instituição onde decorrerão as atividades de investigação, garantindo as condições necessárias ao seu bom desenvolvimento, bem como o cumprimento dos deveres previstos no artigo 13.º do Estatuto do Bolseiro de Investigação (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT);
- g) Documento atualizado comprovativo do cumprimento do regime de dedicação exclusiva (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT).

A concessão da bolsa encontra-se ainda dependente:

- do cumprimento dos requisitos previstos no presente Aviso de Abertura;
- do resultado da avaliação científica;
- da inexistência de incumprimento injustificado dos deveres do bolseiro no âmbito de anterior contrato de bolsa financiada, direta ou indiretamente, pela FCT;
- da disponibilidade orçamental da FCT.

A falta de entrega de algum dos documentos necessários para completar o processo de contratualização da bolsa, no prazo de 6 meses a partir da data de comunicação da decisão de concessão condicional da bolsa, implica a caducidade da referida concessão e o encerramento do processo.

## **11. FINANCIAMENTO**

O pagamento das bolsas terá início após a devolução, pelos candidatos, do contrato de bolsa devidamente assinado, o que deverá ocorrer no prazo máximo de 15 dias úteis contados a partir da data do seu recebimento.

As bolsas atribuídas no âmbito do presente concurso serão financiadas pela FCT com verbas do Orçamento de Estado e, quando elegíveis, com verbas do Fundo Social Europeu, a disponibilizar ao abrigo do PORTUGAL2020, através, nomeadamente, do Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), Programa Operacional Regional do Centro (Centro 2020) e do Programa Operacional Regional do Alentejo (Alentejo 2020), de acordo com as disposições regulamentares fixadas para o efeito.

## **12. COMPONENTES DA BOLSA**

Aos bolseiros é atribuído um subsídio mensal de manutenção nos termos da tabela constante do Anexo I do RBI.

A bolsa pode ainda incluir outras componentes, nos termos que constam do artigo 18º do RBI e pelos valores previstos no seu Anexo II.

Todos os bolseiros beneficiam de um seguro de acidentes pessoais relativamente às atividades de investigação, suportado pela FCT.

Todos os bolseiros que não se encontrem abrangidos por qualquer regime de proteção social podem assegurar o exercício do direito à segurança social mediante adesão ao regime do seguro social

voluntário, nos termos do Código dos Regimes Contributivos do Sistema Previdencial de Segurança Social, assegurando a FCT os encargos resultantes das contribuições nos termos e com os limites previstos no artigo 10º do EBI.

### **13. PAGAMENTOS DAS COMPONENTES DA BOLSA**

Os pagamentos devidos ao bolseiro são efetuados através de transferência bancária para a conta por este identificada. O pagamento do subsídio mensal de manutenção é efetuado no primeiro dia útil de cada mês. Os pagamentos das componentes de inscrições, matrículas ou propinas são efetuados pela FCT diretamente à instituição nacional onde o bolseiro esteja inscrito ou matriculado no doutoramento.

### **14. TERMOS E CONDIÇÕES DE RENOVAÇÃO DA BOLSA**

A renovação da bolsa depende sempre de pedido apresentado pelo bolseiro, nos 60 dias úteis anteriores à data de início da renovação, acompanhado dos seguintes documentos:

- pareceres emitidos pelo/s orientador/es e pela/s entidade/s de acolhimento sobre o acompanhamento dos trabalhos do bolseiro e a avaliação das suas atividades;
- documento atualizado comprovativo do cumprimento do regime de dedicação exclusiva;
- documento comprovativo de renovação da inscrição no ciclo de estudos conducente ao grau de doutor.

### **15. INFORMAÇÃO E PUBLICIDADE DO FINANCIAMENTO CONCEDIDO**

Em todas as atividades de I&D direta ou indiretamente financiadas pela bolsa, nomeadamente, em todas as comunicações, publicações e criações científicas, bem como teses, realizadas com os apoios previstos na bolsa, deve ser expressa a menção de apoio financeiro da FCT e do Fundo Social Europeu, através, nomeadamente, do Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), Programa Operacional Regional do Centro (Centro 2020) e do Programa Operacional Regional do Alentejo (Alentejo 2020). Para este efeito devem ser inscritos nos documentos referentes a estas ações as insígnias da FCT, do MCTES, do FSE e da UE, conforme as normas gráficas de cada programa operacional.

A divulgação de resultados da investigação financiada ao abrigo do RBI deve obedecer às normas de acesso aberto de dados, publicações e outros resultados da investigação em vigor na FCT.

Em todas as bolsas, e em particular no caso de ações apoiadas por financiamento comunitário, designadamente do FSE, poderão ser realizadas ações de acompanhamento e controlo por parte de organismos nacionais e comunitários conforme legislação aplicável nesta matéria, existindo por parte dos bolseiros apoiados a obrigatoriedade de colaboração e de prestação da informação solicitada, a qual abrange a realização de inquéritos e estudos de avaliação nesta área, ainda que a bolsa já tenha cessado.

### **16. POLÍTICA DE NÃO DISCRIMINAÇÃO E DE IGUALDADE DE ACESSO**

A FCT promove uma política de não discriminação e de igualdade de acesso, pelo que nenhum candidato pode ser privilegiado, beneficiado, prejudicado ou privado de qualquer direito ou isento de



qualquer dever em razão, nomeadamente, de ascendência, idade, sexo, orientação sexual, estado civil, situação familiar, situação económica, instrução, origem ou condição social, património genético, capacidade de trabalho reduzida, deficiência, doença crónica, nacionalidade, origem étnica ou raça, território de origem, língua, religião, convicções políticas ou ideológicas e filiação sindical.

## **17. LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL**

O Concurso rege-se pelo presente Aviso de Abertura, pelo Regulamento de Bolsas de Investigação da FCT, aprovado pelo Regulamento nº 950/2019, publicado na II Série do DR de 16 de dezembro de 2019, pelo Estatuto do Bolseiro de Investigação aprovado pela Lei n.º 40/2004, de 18 de agosto, na redação em vigor, e pela demais legislação nacional e comunitária aplicável.



## **ANEXO**

### **CONTEÚDOS**

#### **Doutoramentos em Geofísica e Ciências da Geoinformação**

- 1 Dinâmica e previsão de Rios Atmosféricos
- 2 Modelação do clima urbano a muito alta resolução recorrendo a modelos numéricos de base Física e a algoritmos de inteligência artificial (Deep-learning)
- 3 Impacto de Alterações do Uso do Solo nos Processos de Interação Solo-Atmosfera num Clima em Mudança
- 4 Ondas orográficas, vórtices e turbulência no escoamento atmosférico na vizinhança da Ilha da Madeira
- 5 Aplicação de Deep learning na estimativa de cubos de dados geofísicos com base em dados SAR interferométricos
- 6 Avaliação do ambiente acústico no Atlântico NE e dos impactos antropogénicos na fauna marinha usando OBS
- 7 Sismologia em Tempo-Real para Sistemas de Aviso de Tsunami
- 8 Avaliação das condições eco-hidro-climáticas em regiões com escassez de água

#### **Doutoramentos em Geologia**

- 9 Grandes depósitos de massa na cintura Varisca Ibérica: tectónica regional, paleogeografia e geodinâmica
- 10 O problema da dolomite revisitado: controlos geoquímicos e mineralógicos do processo de dolomitização em ambientes sedimentares e metassomáticos
- 11 Utilização de nanofósseis calcários como indicadores das Alterações Climáticas durante a última Deglaciação
- 12 A geodinâmica da Junção Tripla dos Açores
- 13 Análise da paleoecologia de dinossáurios terópodes do Jurássico de Portugal com base em modelagem biomecânica
- 14 Modelação de Nicho Ecológico (ENM), uma ferramenta para compreender a diversidade de saurópodes durante a transição Jurássico Superior-Cretácico Inferior na região do Atlântico Norte-Tétis
- 15 Evolução petrológica do limite crosta inferior – manto exumado no Norte de Marrocos: uma análise geoquímica e termocronológica
- 16 Revelar o registo da estratigrafia sequencial com Sísmica de Reflexão de Ultra-Alta Resolução
- 17 Reconstrução paleoambiental da costa norte portuguesa desde o Pleistocénico superior
- 18 Associações de Foraminíferos em depósitos costeiros e marinhos de ondas de porto: uma avaliação integrada da dinâmica sedimentar
- 19 Modelação inversa de tsunamis – dos dados geológicos aos parâmetros físicos da onda

#### **Doutoramentos em Sistemas Sustentáveis de Energia**

- 20 Enfrentando os desafios das mudanças climáticas para edifícios comerciais em África através de soluções ideais de balanço de energia zero
- 21 Emissões de ozono troposférico e demanda energética da mobilidade (GREEN)
- 22 Modelos físicos de energia do parque edificado residencial
- 23 Optimização de sistemas de armazenamento de energia e mobilidade elétrica considerando o uso de matérias primas

## IDL 2021 - 1

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação (Meteorologia)

# Dinâmica e Previsão de Rios Atmosféricos

## Orientação

Alexandre M. Ramos (IDL), David Lavers (ECMWF), Ricardo M. Trigo (IDL)

Estão planeadas visitas ao Centro Europeu de Previsão do Tempo a Curto e Médio Prazo (ECMWF).

## Objetivos

- Caracterizar a dinâmica atmosférica associada aos Rios Atmosféricos (ARs) a partir do seu ciclo de vida com base em reanálises, dados de satélite e observações terrestres;
- Compreender a dinâmica dos Rios Atmosféricos e a influência dos feedbacks superfície-atmosfera;
- Desenvolver uma ferramenta de previsão baseada no sistema de previsão ECMWF para melhorar a previsibilidade dos ARs.

## Motivação e resumo

Os Rios Atmosféricos (ARs) são corredores longos (~2000km), relativamente estreitos (~300-500km) de vapor de água concentrado (WV) responsáveis pelo intenso transporte horizontal de vapor de água e estão tipicamente associados a um jato de baixo nível que antecede a frente fria de um ciclone extratropical (Ralph et al., 2018). Mais de 90% do transporte meridional de WV nas latitudes médias ocorre em ARs, embora cubram menos de 10% da área do globo. Os ARs podem conduzir a grandes quantidades de precipitação, contribuindo frequentemente para precipitações extremas, causando inundações, induzindo deslizamentos de terras, e danificando ecossistemas em diferentes regiões do Mundo (Gimeno et al., 2016).

O ciclo de vida dos ARs (dinâmica atmosférica) e a sua contribuição para eventos de precipitação extrema tem sido restrita a algumas áreas do Mundo, com forte ênfase no Pacífico Norte e no seu impacto na costa ocidental da América do Norte (Ralph et al., 2016). Além disso, o desenvolvimento dos ARs está intrinsecamente relacionado com os fluxos de calor do oceano tropical e a sua deslocação para os pólos (por exemplo, Ramos et al., 2016), enquanto a precipitação também pode ser influenciada pela topografia terrestre e esta interação, atualmente, está mal compreendida.

Há uma falta de estudos observacionais sobre a Europa Ocidental utilizando diferentes abordagens, particularmente quando comparados com a costa ocidental dos EUA, em concreto a utilização do vapor de água integrado (WV) de: 1) dados de satélite e 2) estimativas do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Além disso, é possível que a utilização de sondagens de radiossonda atmosférica em diferentes eventos ARs ajude a compreender a sua estrutura vertical (vento e WV), e a compará-los com o conhecimento atual na bacia do Pacífico.

São necessárias melhores previsões dos ARs e dos seus impactos para melhorar o grau de preparação. Foi recentemente demonstrado que, para previsões de curto e médio prazo, existem casos de sucesso para eventos de ARs na Península Ibérica ocidental (Ramos et al., 2020). Com os conhecimentos obtidos a partir dos dois primeiros objetivos, espera-se que seja desenvolvido um novo instrumento de previsão baseado no

sistema de previsão ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) para melhorar a previsibilidade dos ARs na Europa.

### **Metodologia**

O estudo será baseado em conjuntos de dados de observação de deteção remota, Sistema Global de Navegação por Satélite e sondagens de radiossonda.

Realizar-se-á uma análise precisa da temperatura da superfície do mar e dos fluxos de calor sobre o oceano e sobre a terra, considerando diferentes modelos de solo e parametrizações da camada limite. Estas importantes avaliações serão realizadas utilizando simulações de alta resolução do Weather Research and Forecasting Model (WRF) para ARs específicos e comparando com conjuntos de dados de precipitação observacional.

Será utilizado o *ensemble* (ENS) das previsões operacionais do sistema integrado de previsão ECMWF (ENS). O ENS é composto por uma corrida de controlo e 50 membros, com duas previsões diárias inicializadas às 00:00 e 12:00 UTC.

### **Referências**

- Gimeno et al., (2016) Major Mechanisms of Atmospheric Moisture Transport and Their Role in Extreme Precipitation Events. *Annual Review of Environment and Resources*, 41:1, 117-141.
- Ralph, F.M., Dettinger M.D., Cairns M.M., Galarneau T.J. and Eylander J. (2018) Defining “Atmospheric River”: How the Glossary of Meteorology Helped Resolve a Debate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(4), 837-839.
- Ralph F.M., Cordeira J.M., Neiman P.J. and Hughes M. (2016) Extreme Daily Precipitation in the Northern California Upper Sacramento River Watershed Requires a Combination of a Landfalling Atmospheric River and a Sierra Barrier Jet. *Journal of Hydrometeorology*, 17, 1904-1915.
- Ramos A.M., Nieto R., Tomé R., Gimeno L., Trigo R.M., Liberato M.L.R. and Lavers, D.A. (2016) Atmospheric rivers moisture sources from a Lagrangian perspective. *Earth System Dynamics*, 7, 371-384.
- Ramos A.M., Sousa P.M., Dutra E. and Trigo R.M. (2020) Predictive skill for atmospheric rivers in the western Iberian Peninsula. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 20, 877-888.

## **IDL 2021 - 2**

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

# **Modelação do clima urbano a muito alta resolução recorrendo a modelos numéricos de base Física e a algoritmos de inteligência artificial (Deep-learning)**

### **Orientação**

Miguel Nogueira (IDL-FCUL), Pedro MM Soares (IDL-FCUL), Gaby Langendijk (GERICS)

### **Resumo, Motivação e Objetivo**

Mais de metade da população mundial reside em áreas urbanas, número que deverá aumentar para 60% em 2030 e 70% em 2050. Adicionalmente, as cidades concentram grande parte da atividade económica e das infraestruturas, sendo responsáveis por cerca de 75% das emissões globais de gases com efeito estufa associadas ao consumo de energia, conforme referido na quinta avaliação do Painel Internacional para as Alterações Climáticas [1]. Além disso, as cidades afetam o clima devido a mudanças drásticas no uso do solo

[2]. Consequentemente, embora as áreas urbanas ocupem uma pequena fração da superfície terrestre (<3%), as estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas possuem uma relevância desproporcionalmente importante, e a geração de informação rigorosa sobre o clima urbano e sua evolução são vitais para decisores políticos, planeadores urbanos e *stake-holders*.

Os modelos numéricos climáticos são as melhores ferramentas disponíveis para avaliar a evolução futura do clima. No entanto, em geral, as simulações climáticas globais e regionais de última geração não consideram, ou possuem representações altamente simplificadas de ambientes urbanos [2]. Isso resulta numa caracterização deficiente do clima urbano, o que constitui uma grande limitação para a avaliação do impacto das alterações climáticas e para a formulação de estratégias de adaptação e mitigação. Este projeto visa enfrentar esse desafio, desenvolvendo uma estrutura de modelação inovadora combinando ensembles de modelos climáticos regionais (RCMs), modelos de parametrização urbana de alta resolução (UCMs) e algoritmos de aprendizagem automática (machine learning) para produzir simulações de clima urbano de alta resolução e de valor acrescentado para todo o século XXI.

### **Metodologia Proposta**

Existem três aspectos principais para a estrutura de modelação proposta: i) deve ser construída a partir de modelos numéricos de base física; ii) deve ser informado por observações; e iii) deve permitir a realização de múltiplos ensembles focados na resposta do clima urbano a diferentes trajetórias de emissões futuras combinadas com diferentes cenários de desenvolvimento urbano.

Esses aspectos-chave podem ser abordados com base nos trabalhos recentes de Langendijk et al. [3] sobre a capacidade das simulações de RCM do EURO-CORDEX em representar efeitos urbanos, e de Nogueira & Soares [4], Nogueira et al. [5] em que se propôs um quadro inovador para a realização de downscaling das simulações EURO-CORDEX usando o modelo SURFEX -TEB e se mostrou o seu valor acrescentado. Além disso, a alta eficiência computacional desta última metodologia permite realizar um conjunto vasto de simulações para avaliar o impacto de uma ampla variedade de características de urbanização no clima local (frações construídas, de vegetação e rodoviárias, características principais da construção, telhados verdes ou fotovoltaicos, etc.), e, portanto, podendo ser aplicado às principais cidades globais. O efeito da urbanização sobre eventos extremos e balanço energético urbano será de particular interesse.

As observações de satélite e in situ desempenham um papel fundamental na avaliação do rigor de diferentes modelos climáticos, mas também no ajuste dos seus múltiplos parâmetros que determinam amplamente o clima simulado. No entanto, tanto a precisão do modelo quanto os valores dos parâmetros são altamente heterogêneos, em grande parte dependendo da variável considerada, localização, estação do ano, tipo de evento, etc. [6,7]. Isso representa um problema complexo com um grande número de graus de liberdade. Trabalhos recentes têm sugerido que este tipo de problema pode ser abordado empregando técnicas de deep learning, capazes de combinar este grande volume de informação para extrair soluções optimizadas para todos os casos [8,9].

Em conclusão, o surgimento de simulações de altíssima resolução 1-3 kms a escalas continentais, oferece uma enorme relevância à abordagem aqui proposta de combinar modelos de base física, metodologias de inteligência artificial e novos produtos de detecção remota.

### **Referências**

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (2015) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press.
- [2] Garuma, G.F. (2017). Review of urban surface parameterizations for numerical climate models. Urban Climate, 24: 830-851.
- [3] Langendijk G.S., Rechid D., Jacob D. (2019) Urban Areas and Urban–Rural Contrasts under Climate Change: What Does the EURO-CORDEX Ensemble Tell Us?—Investigating near Surface Humidity in Berlin and Its Surroundings. Atmosphere; 10(12):730.

- [4] Nogueira, M., Soares, P.M.M., 2019. A surface modelling approach for attribution and disentanglement of the effects of global warming from urbanization in temperature extremes: application to Lisbon. *Environ. Res. Lett* 14, 114023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab465f>
- [5] Nogueira, M., Lima, D.C.A., Soares, P.M.M., 2020. An integrated approach to project the future urban climate response: changes to Lisbon's urban heat Island and temperature extremes. *Urban Climate*, 34, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100683>
- [6] Nogueira, M., Albergel, C., Boussetta, S., Johannsen, F., Trigo, I. F., Ermida, S. L., Martins, J. P. A., and Dutra, E. (2020) Role of vegetation in representing land surface temperature in the CHTESSEL (CY45R1) and SURFEX-ISBA (v8.1) land surface models: a case study over Iberia, *Geosci. Model Dev.*, 13, 3975–3993, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3975-2020>
- [7] Nogueira, M., Boussetta, S., Balsamo, G., Albergel, C., Trigo, I. F., Johannsen, F., Miralles, D., & Dutra, E. (2020). Upgrading land-cover and vegetation seasonality in the ECMWF coupled system: verification with FLUXNET sites, METEOSAT satellite land surface temperatures and ERA5 atmospheric reanalysis. *J. Geophys. Res.: Atmos.*
- [8] Rasp, S., Pritchard, M.S., and Gentine, P., 2018. Deep learning to represent subgrid processes in climate models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (39) 9684-9689; DOI: 10.1073/pnas.1810286115
- [9] Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B. et al., 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature* 566, 195–204, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>

## **IDL 2021 - 3**

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

# **Impacto de Alterações do Uso do Solo nos Processos de Interação Solo-Atmosfera num Clima em Mudança**

## **Orientação**

Rita M Cardoso (IDL), Daniela Lima (IDL)

## **Resumo**

As alterações climáticas estão reconhecidas como um dos maiores desafios para o século XXI. Alterações do uso do solo ou do coberto vegetal (LUC) são reconhecidos como um dos forçadores principais das alterações climáticas à escala regional e global [1]. Estas, modificam localmente as propriedades da superfície terrestre que controlam as trocas de massa, energia e momento entre a atmosfera e o solo, cujo impacto depende da sua escala e natureza. No entanto, a influência das LUC no clima ainda é relativamente desconhecida [2]. Gradualmente mais sofisticados, os Modelos do Sistema Terrestre (ESM) estão a ser desenvolvidos de forma a explorar os impactos biogeofísicos da LUC. A LUC tem um impacto de magnitude semelhante para várias variáveis, no entanto o sinal é oposto ao aumento de gases de efeito estufa [3]. No entanto, existem grandes inconsistências nos impactos da LUC, sendo necessária a utilização de uma LUC comum num grande conjunto de ESMs [4], que será abordado em algumas das simulações CMIP6 [5]. No entanto, esses ESMs têm resoluções horizontais relativamente grosseiras, sendo insuficientes para descrever muitos dos processos dos sistemas que regulam o clima regional e local e, onde a maioria das consequências das alterações climáticas serão sentidas. Essas limitações são muito ampliadas em áreas de geomorfologia difícil, regiões onde as circulações térmicas e

mecânicas regionais e locais são forçadas por heterogeneidades da superfície. Os modelos climáticos regionais (RCM) têm sido usados para superar essas limitações e representar de forma mais realista os processos de escala regional para local. Estes modelos permitiram o desenvolvimento de cenários regionais de mudanças climáticas e o estabelecimento de consórcios como o CORDEX [6]. Os desafios para o desenvolvimento dos RCMs focam-se na sua evolução para Modelos Regionais do Sistema Terra, incorporando o acoplamento do oceano, vegetação dinâmica e outras componentes. À escala regional, a cobertura do solo pode aumentar a heterogeneidade da superfície, o que pode levar ao desenvolvimento de circulações de mesoscala que podem intensificar/suprimir a convecção com implicações para a circulação de larga escala. O acoplamento terra-atmosfera contribui significativamente para a evolução de eventos extremos através dos fluxos de água e energia entre o solo e a atmosfera [7,8]. Deste modo, é imperativo investigar mais detalhadamente os sistemas de realimentação da atmosfera terrestre, especialmente no âmbito da avaliação de risco e cenários de aquecimento futuro.

O presente projeto envolve a realização de simulações climáticas regionais forçadas com o modelo WRF usando mapas dinâmicos de uso do solo para avaliar o impacto das LUC em climas passados, presentes e futuros. Os resultados farão parte dos esforços de intercomparação no âmbito da *Flagship Pilot Study LUCAS (Land Use & Climate Across Scales)*. O acoplamento da atmosfera-solo associado a eventos climáticos extremos (inundações, ondas de calor, secas) e a influência da LUC na sua intensificação/mitigação será o foco do projeto. A análise será realizada englobando o conjunto de resultados da LUCAS, com foco na partição da energia disponível em fluxos de calor latente e sensível, fluxos de humidade e a influência da dissecação do solo no desenvolvimento da camada limite planetária. Será dada especial atenção à influência destes fatores no desenvolvimento de eventos extremos. Em primeiro lugar, a contribuição das LUC para o clima atual será avaliada através de estudos de sensibilidade e simulações offline de altíssima resolução. Em segundo lugar, a contribuição das LUC para a intensificação/mitigação das alterações climáticas será investigada através de simulações de dois cenários climáticos.

## Referências

- [1] Mahmood et al (2014) Land cover changes and their biogeophysical effects on climate DOI: 10.1002/joc.3736
- [2] Davin et al (2010) Climatic Impact of Global-Scale Deforestation: Radiative versus Nonradiative Processes. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3102.1>
- [3] de Noblet-Ducoudre et al (2012) Determining robust impacts of land-use induced land-cover changes on surface climate over North America and Eurasia; Results from the first set of LUCID experiments DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00338.1
- [4] Pitman et al (2009) Uncertainties in climate responses to past land cover change : First results from the LUCID intercomparison study DOI: [dx.doi.org/10.1029/2009GL039076](https://doi.org/10.1029/2009GL039076)
- [5] Eyring et al (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization DOI:10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016
- [6] Giorgi et al (2009) Addressing climate information needs at the regional level: The cordex framework. WMO Bul
- [7] Fischer et al (2007), Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves DOI:10.1029/2006GL029068
- [8] Seneviratne et al (2006) Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature 443



**IDL 2021 - 4**

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação (Meteorologia)

## **Ondas orográficas, vórtices e turbulência no escoamento atmosférico na vizinhança da Ilha da Madeira**

**Orientação**

Pedro Miranda (IDL), Rui Caldeira (IDL, OOM), Miguel Teixeira (Univ. Reading)

Este projeto será na sua maioria desenvolvido no OOM (Madeira), incluindo visitas prolongadas à Univ. Reading (Reino Unido).

**Resumo**

A ilha da Madeira, localizada na zona subtropical do Atlântico Norte, encontra-se frequentemente num regime de ventos alísios de intensidade moderada do rumo nordeste, e constitui um obstáculo importante para o escoamento atmosférico. A topografia da ilha gera ondas internas na atmosfera, vórtices e uma esteira turbulenta com impacto no clima local, na dispersão de poluentes e em operações aeronáuticas. A altura da ilha e a presença frequente de uma inversão do perfil de temperatura em níveis inferiores ao topo da montanha, dão origem a fenómenos relevantes na baixa troposfera, incluindo ondas de lee (Sachsperger et al. 2015) e rotores associados, jatos (Alves et al. 2020; Miranda et al. 2020), vórtices atmosféricos e oceânicos (Grubisic et al. 2015; Pullen et al. 2017) e turbulência (Belo-Pereira & Santos 2020).

Estudos numéricos recentes do escoamento atmosférico (Miranda et al. 2020) e do escoamento acoplado atmosfera-oceano (Alves et al. 2020) mostraram a existência de uma forte variabilidade em ambos os escoamentos em escalas intra-sazonais, deixando em aberto a origem de tal variabilidade. As características das inversões térmicas foram caracterizadas por Carrillo et al. (2016), mas o seu impacto não foi ainda explorado. De igual modo, está demonstrada a existência de ondas de lee (Sachsperger et al. 2015), mas não a de rotores, um importante risco para a aviação. Por fim, a estrutura de vórtices na esteira da Madeira foi analisada genericamente (Grubisic et al. 2015), mas falta fazer análise detalhada da sua variabilidade espaço-temporal.

Observações in situ por estações meteorológicas confirmam os resultados das simulações numéricas já realizadas, mas oferecem uma visão limitada dos processos. Neste projeto de investigação, pretendemos obter informações de campo muito mais detalhadas, usando lidar, radiossondas e torres instrumentadas de forma a caracterizar a estrutura fina da baixa atmosfera junto da Madeira. Estas novas observações serão utilizadas em conjunto com um programa extenso de simulações numéricas com resoluções adequadas para a mesoscala e em modo LES (Large Eddy Simulation), neste caso representando as maiores estruturas do escoamento turbulento. O projeto pretende responder às seguintes questões:

- 1) Qual é a estrutura de mesoscala da inversão? Como responde ao ciclo diurno?
- 2) Qual é a origem a intensificação noturna dos jatos da Madeira?
- 3) Qual é a frequência de ondas de lee e qual o seu papel na geração de turbulência?
- 4) Qual é a variabilidade espaço temporal dos vórtices da esteira e qual a sua predictabilidade?
- 5) Que mecanismos são responsáveis pela turbulência na esteira e como se relacionam com os diferentes processos acima descritos?

**Referências:**

Alves, J.M.R., Caldeira, R.M.A. and Miranda, P.M.A. (2020). Dynamics and oceanic response of the Madeira tip-jets. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **146**, 3048-3063. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3825>



- Belo-Pereira, M. and Santos, J.A. (2020) Air traffic restrictions at the Madeira International Airport due to adverse winds: links to synoptic-scale patterns and orographic effects. *Atmosphere*, **11**, 1257. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos11111257>
- Carrillo, J., Guerra, J.C., Cuevas, E., Barrancos, J. (2016) Characterization of the marine boundary layer and the trade-wind inversion over the sub-tropical North Atlantic. *Bound.-Layer Met.*, **158**, 311-330. doi: <https://doi.org/10.1007/s10546-015-0081-1>
- Grubisic, V., Sachsperger, J. and Caldeira, R.M.A. (2015) Atmospheric wake of Madeira: first aerial observations and numerical simulations. *J. Atmos. Sci.*, **72**, 4755-4776. doi: <https://doi.org/10.1175/JAS-D-14-0251.1>
- Miranda, P.M.A., Tomé, R., Frois, L., Nogueira, M., Alves, J.M.R., Prior, V., Caldeira, R. and Dutra, E. (2020) Speed-up of the Madeira tip jets in the ERA5 climate highlights the decadal variability of the Atlantic subtropics, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, in press. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3940>
- Sachsperger, J., Serafin, S. and Grubisic, V. (2015) Lee waves on the boundary-layer inversion and their dependence on free-atmospheric stability. *Front. Earth. Sci.*, **3**, 70. Doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00070>
- Pullen, J., Caldeira, R.M.A., Doyle, J.D., May, P. and Tomé, R. (2017) Modeling the air-sea feedback system of Madeira island. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **9**, 1641-1664. doi: <https://doi.org/10.1002/2016MS000861>

## IDL 2021 – 5

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

### ***Aplicação de Deep learning na estimativa de cubos de dados geofísicos com base em dados SAR interferométricos***

#### **Orientação**

João Catalão (IDL), Giovanni Nico (IAC-CNR, Bari), Marco Quartulli (Vicomtech, San Sebastian)

Parte do trabalho será realizado no IAC-CNR, Bari (Itália) e na Vicomtech, San Sebastian (Espanha)

#### **Resumo**

O lançamento do satélite Sentinel-1A em 2014 e do satélite Sentinel-1B em 2016, no âmbito do programa Copernicus, representa o início de uma nova era para as aplicações baseadas na interferometria radar de abertura sintética (INSAR, *Interferometric Aperture Synthetic Radar*). Para além destas missões, está previsto o lançamento de novas missões na banda L nos próximos anos, de que são exemplo as missões SAOCOM e NISAR. Estas missões fornecem diariamente uma quantidade de dados SAR sem precedentes, bem como dos correspondentes parâmetros geofísicos, em cubos no espaço e tempo, estimados com base nas séries temporais de interferometria SAR. Entre as aplicações mais desafiantes, é de referir a possibilidade de monitorizar a evolução temporal do padrão de deformação em zonas tectónicas e vulcânicas ativas, da subsidência em áreas urbanas e os efeitos conjuntos de subsidência e aumento do nível do mar em megacidades costeiras, a estimativa de vapor de água da atmosfera com elevada resolução espacial e a humidade do solo, útil para a maioria dos estudos sobre os efeitos climáticos em áreas semiáridas e eventos climáticos extremos.

Isto requer novas ferramentas de processamento baseadas em técnicas de aprendizagem automática, *Deep Learning* (DL) e algoritmos de *Big Data* para compactar a informação geofísica de densas séries temporais InSAR. Os primeiros estudos baseados nas aplicações da técnica de *deep learning* e redes neurais convolucionais (CNN) para o processamento de séries temporais de dados InSAR de grande dimensão, demonstram que este é um novo tópico de investigação para a comunidade de Observação da Terra baseada em interferometria SAR.

Um outro ponto chave é a visualização de informação e a pesquisa e exploração de dados que podem abrir novas perspetivas para o estudo de diferentes fenómenos geofísicos que ocorrem na terra ou na atmosfera, e trazer novos desenvolvimentos teóricos. Como uma abordagem adicional, a teoria poderia ser construída começando de uma forma orientada por dados. Em ambos os casos, as técnicas de ciência de dados são necessárias para a análise estatística avançada de dados multidimensionais e para a definição de recursos a serem usados na recuperação e pesquisa da informação.

O objetivo desta tese de doutoramento é desenvolver ferramentas e abordagens baseadas em aprendizagem automática (*deep learning*) e técnicas de análise de *Big Data* para o processamento e visualização de dados, e análise de grandes séries temporais InSAR. Um outro objetivo é aplicar essas técnicas de processamento avançado para demonstrar a prova de conceito e validar novas aplicações de séries temporais InSAR para o estudo de fenómenos meteorológicos, deformação do terreno (tectónica e vulcanismo), hidrosfera e áreas urbanas.

Os objetivos específicos do estudo proposto são: a) desenvolver novos algoritmos de Big Data capazes de lidar com grande quantidade de dados em séries temporais InSAR; b) desenvolver novas abordagens de processamento baseadas em técnicas de aprendizagem automática (*deep learning*) para a estimativa conjunta de fase InSAR e coerência; c) desenvolver novos algoritmos de processamento para o desenrolamento da fase no espaço e tempo, de séries temporais de fase InSAR; d) desenvolver e validar uma nova aplicação de série temporal InSAR para a estimativa de cubos de parâmetros geofísicos (por exemplo, vapor de água da atmosfera, humidade do solo, equivalente de água da neve, deformações do terreno, ...)

## Referências

- V. Pankratius, J.Li, M. Gowanlock, D.M. Blair, C. Rudy, T. Herring, F. Lind, P.J. Erickson, C. Lonsdale, Computer-aided discovery toward scientific insight generation with machine support, IEEE Intelligent Systems, 3-10, 2016.
- P. Sica, G. Gobbi, P. Rizzoli, L. Bruzzone,  $\Phi$ -net: deep residual learning for InSAR parameters estimation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2021.
- H. Ansari, F. De Zan, R. Bamler, Sequential estimator: Toward efficient InSAR time series analysis, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(10), 5637-5652, 2017.

## IDL 2021 - 6

Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação (Geofísica)

# Avaliação do ambiente acústico no Atlântico NE e dos impactos antropogénicos na fauna marinha usando OBS

## Orientação

Luis Matias, Andreia Pereira (IDL)

## Objetivos

Propomos usar dados de longa duração obtidos em sismómetros no fundo do mar (OBS) registados no Atlântico NE (Golfo de Cádiz e Falha da Gloria) por diversas experiências de forma a caracterizar o ambiente acústico no

oceano, avaliar a sua variabilidade espacial e temporal e investigar os impactos potenciais que o nível de ruído ambiente possa ter nos mamíferos marinhos. Finalmente, usaremos o nível de fundo do som gerado pela baleia-comum para estudar a taxa de produção das notas de 20-Hz e a sua variabilidade.

### **Motivação e sumário**

Avaliar o ambiente acústico no oceano é uma tarefa crucial para identificar a componente biológica, geológica e antropogénica de um habitat, para monitorizar a variação dos ecossistemas ao longo de tempo e para avaliar os possíveis impactos do ruído antropogénico na fauna marinha. A Diretiva Europeia Quadro da Estratégia Marinha (*Marine Strategy Framework Directive, MSFD*) solicita aos Estados Membros que desenvolvam estratégias para as suas águas territoriais de forma a gerar medidas para atingir ou manter um bom estado ambiental no meio marinho. O ruído ambiente submarino é um dos indicadores definido pela MSFD que precisa de ser avaliado pelos Estados Membros da União Europeia. Por isso, um passo essencial para se poder atingir um bom estado ambiental do meio marinho é a avaliação do seu ambiente acústico. Neste projeto iremos alargar o trabalho já desenvolvido pelo grupo (Harris et al., 2013, Matias & Harris, 2015; Andreia Pereira PhD, 2018; Pereira et al., 2020a, 2020b) de forma a explorar novas linhas de investigação usando o ambiente acústico e os níveis sonoros registados por um conjunto alargado de dados, compreendendo diferentes áreas do Atlântico NE e amostragens realizadas em anos diferentes, que irão permitir uma avaliação das variações regionais e temporais.

### **Tarefas**

- (i) Caracterizar o ambiente acústico submarino registado por OBS em diferentes áreas e períodos de tempo, identificando os principais elementos que contribuem para as componentes geofísica, biológica e antropogénica. Avaliar o nível sonoro médio de cada uma componente e analisar a variabilidade regional e temporal desses níveis sonoros. Será dado particular detalhe ao estudo da componente de origem biológica.
- (ii) Investigar o impacto que o nível de ruído ambiente possa ter no comportamento das baleias de barbas.
- (iii) O nível de fundo sonoro na banda de frequências das vocalizações da baleia-comum pode ser usado para realizar uma medição da densidade de produção de vocalizações que pode depois ser convertida num valor de densidade populacional se a taxa de geração de vocalizações for conhecida (Mellinger et al., 2014). Este método tem a vantagem de permitir o cálculo de densidade de vocalizações sem ser necessária a identificação e localização de cada uma das notas.

### **Referências**

- Harris, D., Matias, L., Thomas, L., Harwood, J., & Geissler, W. H. (2013). Applying distance sampling to fin whale calls recorded by single seismic instruments in the northeast Atlantic. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(5), 3522-3535.
- Matias, L., & Harris, D. (2015). A single-station method for the detection, classification and location of fin whale calls using ocean-bottom seismic stations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(1), 504-520.
- Mellinger, D. K., Küsel, E. T., Harris, D., Thomas, L., & Matias, L. (2014). Estimating singing fin whale population density using frequency band energy. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(4), 2275-2275.
- Pereira, A. (2018). Investigation of fin whales using ocean-bottom recordings, PhD Thesis, Universidade de Lisboa, University of St. Andrews.
- Pereira, A., Harris, D., Tyack, P., & Matias, L. (2020a). Fin whale acoustic presence and song characteristics in seas to the southwest of Portugal. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(4), 2235-2249.
- Pereira, A., Harris, D., Tyack, P., & Matias, L. (2020b). On the use of the Lloyd's Mirror effect to infer the depth of vocalizing fin whales. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(5), 3086-3101.

## IDL 2021 - 7

Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação

# Sismologia em Tempo-Real para Sistemas de Aviso de Tsunami

### Orientação

Susana Custódio (FCUL/IDL), Simone Cesca (GFZ Potsdam, Alemanha)

Parte do trabalho proposto será realizado no GFZ Potsdam, Alemanha.

### Resumo

Os mega-sismos e tsunamis devastadores do início do séc XXI, nomeadamente os sismos e tsunamis de 2004 na Sumatra (Indonésia), de 2010 no Chile, e de 2011 em Tohoku (Japão), tonaram óbvia a necessidade de operacionalizar centros de aviso de tsunami pelo mundo fora. Em Portugal, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) inaugurou o seu centro de aviso de tsunamis em 2017. Este centro é responsável por monitorizar e dar alertas para a região do Atlântico nordeste (NE), uma região que é bem conhecido pelo seu potencial para gerar sismos e tsunamis de elevada magnitude.

Um factor chave para a geração de avisos de tsunami úteis é a caracterização rápida e correcta dos sismos que podem gerar os tsunamis. Actualmente, a rede sísmica Portuguesa transmite dados em tempo real para o laboratório sísmico do IPMA, onde os dados são rapidamente analisados de forma a inferir as características dos sismos em Portugal e regiões oceânicas adjacentes. O conhecimento das características dos sismos possibilita depois a utilização de modelos numéricos para estimar o potencial de geração de tsunami, bem como as amplitudes e tempos de chegada previstas para o tsunami em vários pontos ao longo das costas vizinhas. Desta forma, pode ser dado um aviso às populações antes que o tsunami chegue à costa.

Este projeto propõe-se avançar os sistema de alertas de tsunami, desenvolvendo e operacionalizando no IPMA metodologias avançadas de análise sísmica em tempo real, especificamente pensadas para a região do Atlântico NE e para os seus desafios, nomeadamente as curtas distâncias entre as falhas tsunamigénicas ao largo e as costas vizinhas.

No detalhe, o candidato deverá focar-se nas seguintes tarefas:

1. Revisão da literatura. Revisão de estudos e resultados anteriores sobre sismologia em tempo real e sistemas de aviso de tsunami.
2. Estimativa rápida do momento sísmico para sismos de magnitude elevada a moderada.
  - a. Re-avaliação de métodos para estimar  $m_B$  e  $M_{wp}$  e dos seus limites de aplicabilidade para as regiões sismogénicas do Atlântico NE.
  - b. Implementação do método de determinação de magnitude  $M_{wpd}$  e testes à sua saturação para sismos de magnitudes  $> 6.0$ .
  - c. Implementação do método baseado na fase W para estimar a magnitude do sismo e validação do seu desempenho para eventos de magnitude moderada a elevada na região do Atlântico NE.
3. Determinação imediata dos parâmetros focais e parâmetros de ruptura do sismo.
  - a. Revisão do catálogo de mecanismos focais e integração com informação geológica.

- b. Revisão dos parâmetros fonte dos sismos de acordo com Matias et al (2013) e Baptista et al (2017).
  - c. Revisão da espessura frágil da litosfera nas região de geração de tsunamis.
- 4. Determinação em tempo-real do tensor momento e dos parâmetros de falha finita.
  - a. Implementação e teste de aproximações de fonte quase pontual para calcular o tensor momento dos sismos.
  - b. Implementação e teste de computações de modelos de falha finita em tempo quase real.
- 5. Integração dos resultados. Integração dos resultados obtidos com resultados anteriores e operacionalização no sistema de aviso de tsunamis do IPMA.

Os candidatos a este plano de trabalhos deverão ter bons conhecimentos de Física, Ciências da Terra e Programação. Em caso de dúvidas sobre o plano de trabalhos, contactar: [susanacustodio@campus.ul.pt](mailto:susanacustodio@campus.ul.pt).

### Referências

- Baptista, M. A., Miranda, J. M., Matias, L., & Omira, R. (2017). Synthetic tsunami waveform catalogs with kinematic constraints. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1253-1265.
- Custódio, S., Lima, V., Vales, D., Cesca, S., & Carrilho, F. (2016). Imaging active faulting in a region of distributed deformation from the joint clustering of focal mechanisms and hypocentres: Application to the Azores–western Mediterranean region. *Tectonophysics*, 676, 70-89.
- Gica, E. (2008). Development of the forecast propagation database for NOAA's Short-term Inundation Forecast for Tsunamis (SIFT).
- Lomax, A., & Michelini, A. (2009). Mwpd: a duration–amplitude procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential from P waveforms. *Geophysical Journal International*, 176(1), 200-214.
- Matias, L. M., Cunha, T., Annunziato, A., Baptista, M. A., & Carrilho, F. (2013). Tsunamigenic earthquakes in the Gulf of Cadiz: fault model and recurrence. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(1), 1-13.
- Omira, R., Neres, M., & Batista, L. (2019). The Gloria Transform Fault—NE Atlantic: Seismogenic and Tsunamigenic Potential. In *Transform Plate Boundaries and Fracture Zones* (pp. 157-167). Elsevier.
- Tsuboi, S., Abe, K., Takano, K., & Yamanaka, Y. (1995). Rapid determination of Mw from broadband P waveforms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(2), 606-613.

## IDL 2021 – 8

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

## Avaliação das condições eco-hidro-climáticas em regiões com escassez de água

### Orientação

Maria C. Neves (UALg, IDL), Luis Nunes (UALg, CERIS)

Uma parte do trabalho proposto pode vir a ser conduzido numa instituição parceira.

### Motivação e Sumário

Embora 1,7 mil milhões de pessoas vivam atualmente em áreas com escassez de água (Gleeson et al., 2012), poucos estudos demonstram como a análise quantitativa da eco-hidrologia pode contribuir para a gestão

sustentável da água nestas regiões. Tendo em conta as atuais pressões climáticas e antropogénicas sobre os recursos hídricos (Van Loon et al., 2016), urge adotar abordagens inovadoras para a gestão da água para assim garantir a segurança do abastecimento de água e alimento no futuro (FAO, 2014). Neste estudo avaliaremos os impactos do clima e do uso da terra nos recursos hídricos (tanto superficiais quanto subterrâneos) recorrendo a casos-estudos de áreas com escassez de água. As conexões entre o clima, a infraestrutura verde e a disponibilidade de água serão examinadas para promover a gestão sustentável da água. Neste sentido, pretende-se desenvolver e estudar processos avançados de eco-hidrologia para promover a segurança da água, com os seguintes objectivos:

- Avaliar os impactos das pressões climáticas e práticas de uso da terra sobre os recursos hídricos, aplicando a metodologia da ‘Driver-Pressure-State-Impact-Response Framework (DPSIR)’ para estudar lacunas científicas que comprometem o planeamento sustentável e a tomada de decisões. Além disso, usaremos um modelo quantitativo relacional entre clima, solo, disponibilidade de água e ecossistemas.
- Caracterizar a infraestrutura verde, avaliar a valoração dos serviços ecossistémicos e identificar ecossistemas e sistemas hídricos sob pressão. Isto será feito usando observações da caracterização do uso do solo baseados em sistemas de informações geográficas e imagens de satélite, em conjunto com calibração de campo e validação de modelo.
- Abordar o impacto das condições climáticas no ‘water-energy-food nexus’ em áreas com escassez de água e calcular indicadores localizados de sustentabilidade hídrica e segurança alimentar.

## References

FAO (2014) The water-energy-food nexus: a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome

Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P., & Van Beek, L. P. H. (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488(7410), 197–200. <https://doi.org/10.1038/nature11295>

Van Loon, A. F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A. I. J. M., Stahl, K., Hannaford, J., Di Baldassarre, G., Teuling, A. J., Tallaksen, L. M., Uijlenhoet, R., Hannah, D. M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T., Rangelcroft, S., Wanders, N., & Van Lanen, H. A. J. (2016). Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience*, 9(2), 89–91. <https://doi.org/10.1038/ngeo2646>

## IDL 2021 – 9

Doutoramento em Geologia

# Grandes depósitos de massa na cintura Varisca Ibérica: tectónica regional, paleogeografia e geodinâmica

## Orientação

Ícaro Dias da Silva (IDL), Manuel Francisco Pereira (UÉvora, ICT), José Brandão Silva (IDL)

## Objectivos

Identificação e caracterização de grandes depósitos de massa (GDM) formados durante a sedimentação marinha sinorogénica nas bacias de ante-país da cadeia Varisca no Maciço Ibérico.



Reconhecer e descrever estruturas sedimentares e tectónicas dos GDM, na tentativa de separar mélanges tectónicas de sedimentares e caracterizar a sua associação para gerar mélanges poligénicas.

Definir relações espaciais e temporais entre os principais eventos de deformação-metamorfismo Variscos e a sedimentação sinorogénica.

Avaliar as relações de proveniência-bacia entre as possíveis áreas-fonte e detritos (olistólitos e sedimentos) usando dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos.

Desenvolver um modelo para a evolução tectónica, paleogeográfica e geodinâmica das bacias sinorogénicas marinhas Variscas na Península Ibérica e regiões limítrofes.

## **Motivação e Sumário**

As bacias sinorogénicas marinhas (BSM) ocorrem na maioria dos ambientes marinhos geodinâmicos, em margens passivas e ativas afetadas por sismos (DeCelles 2012; Dickinson and Valloni 1980; Garzanti et al. 2007). As BSM estão associadas tanto a orógenos Arcaicos como Fanerozoicos (Kusky et al. 2020; Liang and Li 2005; Mulder et al. 2017; Wilmsen et al. 2009) e são portadores de informação estratigráfica essencial para uma melhor compreensão da tectónica regional e das evoluções geográfica e geodinâmica tanto de cadeias de montanha antigas como recentes.

Uma característica sedimentológica comum a todas as BSM é a presença de fluxos turbidíticos de material detrítico despoletados por terremotos, que produzem uma grande variedade de facies sedimentares. Estas incluem sequências rítmicas “ordenadas” do tipo “flysch” e grandes depósitos de massa (GDM) “caóticos”, que incluem blocos de rocha hectométricos ou olistólitos (Coleman and Prior 1988; Eyles 1990; Festa et al. 2020; Franke and Engel 1986), também denominados por “Block-in-Matrix Formations” (BIMF, segundo Festa et al. 2016). Como a fonte provável de sedimentos e olistólitos nas BSM está nos relevos orogenicamente activos que circundam a bacia, o estudo da sua estratigrafia oferece pistas importantes sobre a variação topográfica ao longo do tempo e do espaço (Chiocci and Casalbore 2017; Ducassou et al. 2014).

Durante a convergência de placas tectónicas, as BSM são gradualmente incorporadas na frente orogénica como lâminas tectónicas na base do prisma de acreção, sob a forma de um tapete tectónico (Festa et al. 2019; Kusky et al. 2020; Dias da Silva et al. 2020; González Clavijo et al. 2020). A progressão da frente tectónica e do depocentro da bacia durante a colisão, favorece a reciclagem de sedimentos dentro da bacia (“wild-flysch”) que, com a mistura de outras fontes externas (Bütler et al. 2011; Franke and Engel 1986), produz sinais combinados de difícil interpretação paleogeográfica. A chave para resolver este problema está no estudo regional da estratigrafia da bacia, incluindo as sequências “flysch” “ordenadas”, os GDM “caóticos” e a petrografia dos seus olistólitos (Festa et al. 2019; 2020). Complementarmente, é também crucial um reconhecimento geológico detalhado do soco das BSM assim como das regiões circundantes, para identificar aspetos discriminatórios que ajudam a limitar diferentes variáveis tais como a descrição das possíveis áreas-fonte, estimar a distância de transporte sedimentar, caracterizar os enquadramentos tectónicos locais e regionais, e reconhecer limitações paleogeográficas (Alonso et al. 2015; Festa et al. 2016; Krastel et al. 2019).

Outra motivação para estudar as BSM é conhecer os mecanismos que despoletam a formação de GDM submarinos que se formam nas margens continentais e são transportados vários quilómetros ao longo do talude até à sua base. Os GDM apresentam-se atualmente como um dos principais eventos naturais geradores de maremotos de grandes dimensões que colocam as comunidades e infraestruturas costeiras em grande risco (Festa et al. 2016; Ramalho et al. 2015; Moore and Strasser 2016). Os grandes deslizamentos submarinos podem também diminuir ou mesmo impedir o funcionamento de sistemas hidrotermais associados a vulcanismo a produção de jazidas hidrotermais, com implicações na perspetiva mineira (Smith et al. 2018). Os aspetos-chave que controlam a formação, transporte e instalação de GDM estão longe de estar conhecidos, tendo em conta o impacto que a sua cartografia poderá ter na planificação de campanhas de prospeção mineira.



A observação de GDM modernos é inacessível através de observação direta. Para o conseguir o/a candidato/a irá estudar os GDM contidos nas BSM do Varisco Ibérico (ca. 380-307 Ma; Martínez Catalán et al. 2016; Pereira et al. 2017; González Clavijo et al. 2020) formados no decorrer da convergência continental entre Laurussia e Gondwana que formou a Pangeia (Murphy et al. 2016). Estas sucessões antigas irão permitir: 1) limitar variáveis paleogeográficas e a relação entre os diferentes ambientes tectónicos em ambas margens continentais (Martínez Catalán et al. 2016; Pereira et al. 2017; Oliveira et al. 2019) que influenciaram a formação dos GDM; 2) identificar relações entre área-fonte e bacia sedimentar; 3) estabelecer condições de formação de GDM.

GDM têm sido descritos nas BSM Variscas do NW e SW da Península Ibérica. Estas bacias são críticas para investigar e observar diretamente os GDM e a suas relações com os sedimentos sinorogénicos e o soco, dois aspetos críticos para perceber como estas bacias se formaram e estabeleceram. A informação estratigráfica das BSM tem sido usada para melhorar os modelos paleogeográficos e geodinâmicos para a evolução da cintura Varisca Ibérica. No NW da Península Ibérica (González Clavijo et al. 2016, 2020; Martínez Catalán et al. 2016; Azor et al. 2019), os GDM estão caracterizados por estruturas complexas, incluindo dobras sedimentares do tipo “slump”, BIMF e grandes olistólitos provenientes do soco e dos blocos que lhes estão tectonicamente imbricados (González Clavijo et al. 2016, 2020). A base de cada um dos GDM é geralmente erosiva e disruptiva, com uma mistura de material consolidado e não consolidado.

No SW da Península Ibérica, os GDM ocorrem em ambos lados da tectonicamente retrabalhada, sutura Varisca que separa Laurussia de Gondwana (Oliveira et al. 2019; Pereira et al. 2012a; 2017). Na margem de Gondwana, as estruturas dos GDM e suas relações com o soco parecem ser semelhantes às descritas no NW da Península Ibérica, mas com um forte contributo de vulcanismo intrabasinal (Oliveira et al. 2019; Pereira et al. 2012a,b; 2020). Na margem de Laurussia, os GDM (Pereira et al., 2012b) não estão precisamente definidos, por estarem tectonicamente imbricados na frente Varisca (Chagué-Goff et al. 2011). Contudo, as BSM Variscas deste setor são portadores de depósitos de classe mundial de sulfuretos maciços hidrotermais vulcanogénicos (“VHMS”; Barriga 1990) – a Faixa Piritosa Ibérica – sobre os quais o impacto dos GDM nunca foi estimado.

## Metodologia

Este projeto de doutoramento irá contribuir para aumentar o conhecimento sobre as estruturas internas dos GDM, a sua relação entre os GDM e o soco, a sedimentação sinorogénica, e o reconhecimento das áreas-fonte potenciais das BSM. Estes objetivos serão cumpridos aplicando métodos de investigação nas diferentes áreas científicas: Cartografia Geológica, Estratigrafia, Geologia Estrutural, Petrografia, Geoquímica e Geocronologia. Para atingir estes objetivos, será compilada informação para: 1) produzir um mapa com a representação da distribuição dos GDM Variscos; 2) criar uma tabela com estimativas de volume dos GDM; 3) formular tabela de classificação para cada tipo de estrutura interna de GDM, planos de deslizamento e modos de transporte; 4) estimar condições de formação de GDM; 5) propor um modelo de proveniência sedimentar usando geocronologia e geoquímica; 6) modelar a tectónica regional, paleogeografia e geodinâmica associada à evolução das BSM Variscas.

As campanhas de campo serão usadas para: 1) produzir mapas geológicos de áreas-chave onde as BSM são portadoras de GDM em Portugal; 2) estabelecer relações estratigráficas e estruturais entre dos GDM e a sequencia “flysch”, incluindo também a relação dos GDM com os VHMS da Faixa Piritosa Ibérica; e 3) definir a estrutura dos GDM e o seu modo de instalação. Serão amostradas rochas vulcânicas e sedimentares dos GDM e possíveis áreas-fonte para estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos. Esta investigação integrada será essencial para definir variáveis para modelar a formação de GDM através de uma análise comparativa com análogos modernos.

## Requisitos do/a candidato/a e melhoria do seu conhecimento

O/A candidato/a terá de estar na posse de uma carta de condução válida para conduzir na UE.

Deverá estar motivado/a para realizar trabalho de campo de forma regular, para aprender e melhorar as suas técnicas de cartografia geológica e de geologia estrutural, e para gradualmente ganhar autonomia.

É recomendável que o/a candidato/a tenha alguma experiência de campo, incluindo capacidade de realização de cartografia geológica (incluindo rochas deformadas e metamorfizadas), aptidão de desenho de cortes de estrada e cortes projetados, e competência em amostragem para geoquímica e geocronologia. Também se recomenda ter aptidões em sedimentologia, petrologia metamórfica e ígnea, SIGs e bases de dados.

O/A candidato/a irá aprender ou melhorar as suas capacidades na realização de cartografia geológica moderna (incluindo Geodatabase e SIG), geologia estrutural, sedimentologia, petrologia metamórfica e ígnea, geocronologia, tectónica regional, paleogeografia e geodinâmica. É esperado que o/a candidato/a adquira um grande nível de integração de dados provenientes de diferentes fontes (bibliográficas, dados próprios) para modelar a paleogeografia e evolução geodinâmica das BSM Variscas.

## Referências

- Alonso JL, Marcos A, Villa E, Suárez A, Merino-Tomé OA, Fernández LP (2015) Mélanges and other types of block-in-matrix formations in the Cantabrian Zone (Variscan Orogen, northwest Spain): origin and significance. *International Geology Review* 57 (5-8):563-580. DOI: <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.950608>
- Azor A, Dias da Silva Í, Gómez Barreiro J, González-Clavijo E, Martínez Catalán JR, Simancas JF, Martínez Poyatos D, Pérez-Cáceres I, González Lodeiro F, Expósito I, Casas JM, Clariana P, García-Sansegundo J, Margalef A (2019) Deformation and Structure. In: C Quesada, JT Oliveira (eds) *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach: Volume 2: The Variscan Cycle*. Springer International Publishing, Cham, pp 307-348. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_10)
- Barriga FJAS (1990) Metallogenesis in the Iberian Pyrite Belt. In: RD Dallmeyer, EM Garcia (eds) *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 369-379. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-83980-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-83980-1_26)
- Bütler E, Winkler W, Guillong M (2011) Laser ablation U/Pb age patterns of detrital zircons in the Schlieren Flysch (Central Switzerland): new evidence on the detrital sources. *Swiss Journal of Geosciences* 104 (2):225. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00015-011-0065-1>
- Coleman JM, Prior DB (1988) Mass Wasting on Continental Margins. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 16 (1):101-119. DOI: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ea.16.050188.000533>
- Chagué-Goff C, Schneider J-L, Goff JR, Dominey-Howes D, Strotz L (2011) Expanding the proxy toolkit to help identify past events — Lessons from the 2004 Indian Ocean Tsunami and the 2009 South Pacific Tsunami. *Earth-Science Reviews* 107 (1):107-122. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825211000420>
- Chiocci FL, Casalbore D (2017) Reprint of Unexpected fast rate of morphological evolution of geologically-active continental margins during Quaternary: Examples from selected areas in the Italian seas. *Marine and Petroleum Geology* 87:148-156. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817217302210>
- DeCelles PG (2012) Foreland basin systems revisited: Variations in response to tectonic settings. *Tectonics of sedimentary basins: Recent advances*:405-426.
- Dias da Silva Í, González Clavijo E, Díez-Montes A (2020) The collapse of the Variscan belt: a Variscan lateral extrusion thin-skinned structure in NW Iberia. *International Geology Review*:1-37. DOI: <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1719544>
- Dickinson WR, Valloni R (1980) Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins. *Geology* 8 (2):82-86. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1980\)8<82:PSAPOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1980)8<82:PSAPOS>2.0.CO;2)
- Ducassou C, Poujol M, Ruffet G, Bruguier O, Ballèvre M (2014) Relief variation and erosion of the Variscan belt: detrital geochronology of the Palaeozoic sediments from the Mauges Unit (Armorican Massif, France). *Geological Society, London, Special Publications* 405 (1):137-167. DOI: <https://sp.lyellcollection.org/content/specpubs/405/1/137.full.pdf>
- Eyles N (1990) Marine debris flows: Late precambrian “tillites” of the Avalonian-Cadomian orogenic belt. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 79 (1):73-98. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003101829090106H>

- Festa A, Ogata K, Pini GA (2020) Polygenetic mélanges: a glimpse on tectonic, sedimentary and diapiric recycling in convergent margins. *Journal of the Geological Society* 177 (3):551-561. DOI: <https://doi.org/10.1144/jgs2019-212>
- Festa A, Ogata K, Pini GA, Dilek Y, Alonso JL (2016) Origin and significance of olistostromes in the evolution of orogenic belts: A global synthesis. *Gondwana Research* 39:180-203. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X16301575>
- Festa A, Pini GA, Ogata K, Dilek Y (2019) Diagnostic features and field-criteria in recognition of tectonic, sedimentary and diapiric mélanges in orogenic belts and exhumed subduction-accretion complexes. *Gondwana Research* 74:7-30. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X19300231>
- Franke W, Engel W (1986) Synorogenic sedimentation in the Variscan Belt of Europe. *Bulletin de la Société Géologique de France II* (1):25-33. DOI: <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.II.1.25>
- Garzanti E, Doglioni C, Vezzoli G, Andò S (2007) Orogenic Belts and Orogenic Sediment Provenance. *The Journal of Geology* 115 (3):315-334. DOI: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/512755>
- González Clavijo E, Dias da Silva Í, Martínez Catalán JR, Gómez Barreiro J, Gutiérrez Alonso G, Díez Montes A, Hofmann M, Gärtner A, Linnemann U (2020) A tectonic carpet of Variscan flysch at the base of an unrooted accretion prism in NW Iberia: U-Pb zircon age constrains from sediments and volcanic olistoliths. *Solid Earth Discuss* 2020:1-46. DOI: <https://se.copernicus.org/preprints/se-2020-173/>
- González Clavijo E, Dias da Silva Í, Gutiérrez-Alonso G, Díez Montes A (2016) U/Pb age of a large dacitic block locked in an Early Carboniferous synorogenic mélange in the Parautochthon of NW Iberia: New insights on the structure/sedimentation Variscan interplay. *Tectonophysics* 681:159-169. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195116000275>
- Krastel S, Li W, Urlaub M, Georgiopoulou A, Wynn RB, Schwenk T, Stevenson C, Feldens P (2019) Mass wasting along the NW African continental margin. *Geological Society, London, Special Publications* 477 (1):151-167. DOI: <https://sp.lyellcollection.org/content/specpubgs/477/1/151.full.pdf>
- Kusky T, Wang J, Wang L, Huang B, Ning W, Fu D, Peng H, Deng H, Polat A, Zhong Y, Shi G (2020) Mélanges through time: Life cycle of the world's largest Archean mélange compared with Mesozoic and Paleozoic subduction-accretion-collision mélanges. *Earth-Science Reviews* 209:103303. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825220303494>
- Liang X-q, Li X-h (2005) Late Permian to Middle Triassic sedimentary records in Shiwandashan Basin: Implication for the Indosinian Yunkai Orogenic Belt, South China. *Sedimentary Geology* 177 (3):297-320. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037073805001193>
- Martínez Catalán JR, González Clavijo E, Meireles C, Díez Fernández R, Bevis J (2016) Relationships between syn-orogenic sedimentation and nappe emplacement in the hinterland of the Variscan belt in NW Iberia deduced from detrital zircons. *Geological Magazine* 153 (1):38-60. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S001675681500028X>
- Moore GF, Strasser M (2016) Large Mass Transport Deposits in Kumano Basin, Nankai Trough, Japan. In: G Lamarche, J Mountjoy, S Bull et al. (eds) *Submarine Mass Movements and their Consequences: 7th International Symposium*. Springer International Publishing, Cham, pp 371-379. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20979-1\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20979-1_37)
- Mulder JA, Karlstrom KE, Fletcher K, Heizler MT, Timmons JM, Crossey LJ, Gehrels GE, Pecha M (2017) The syn-orogenic sedimentary record of the Grenville Orogeny in southwest Laurentia. *Precambrian Research* 294:33-52. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926816304326>
- Murphy JB, Quesada C, Gutiérrez-Alonso G, Johnston ST, Weil A (2016) Reconciling competing models for the tectono-stratigraphic zonation of the Variscan orogen in Western Europe. *Tectonophysics* 681:209-219. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195116000433>
- Oliveira JT, González-Clavijo E, Alonso J, Armendáriz M, Bahamonde JR, Braid JA, Colmenero JR, Dias da Silva Í, Fernandes P, Fernández LP, Gabaldón V, Jorge RS, Machado G, Marcos A, Merino-Tomé Ó, Moreira N, Murphy JB, Pinto de Jesus A, Quesada C, Rodrigues B, Rosales I, Sanz-López J, Suárez A, Villa E, Piçarra JM, Pereira Z (2019) Synorogenic Basins. In: C Quesada, JT Oliveira (eds) *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach: Volume 2: The Variscan Cycle*. Springer International Publishing, Cham, pp 349-429. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10519-8_11)
- Pereira MF, Chichorro M, Johnston ST, Gutiérrez-Alonso G, Silva JB, Linnemann U, Hofmann M, Drost K (2012a) The missing Rheic Ocean magmatic arcs: Provenance analysis of Late Paleozoic sedimentary clastic rocks of SW Iberia. *Gondwana Research* 22 (3-4):882-891. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X12000974>
- Pereira, M.F., Chichorro, M., Silva, J.B., Ordóñez-Casado, B., Lee, J.K.W., Williams, I.S. (2012b). Early Carboniferous wrenching, exhumation of high-grade metamorphic rocks and basin instability in SW Iberia: constraints derived from structural geology and U-Pb and 40Ar-39Ar geochronology. *Tectonophysics* 558-559, 28-44. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.020>
- Pereira MF, Gutiérrez-Alonso G, Murphy JB, Drost K, Gama C, Silva JB (2017) Birth and demise of the Rheic Ocean magmatic arc(s): Combined U-Pb and Hf isotope analyses in detrital zircon from SW Iberia siliciclastic strata. *Lithos* 278:383-399. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493717300658>

- Pereira, M.F., Gama, C., Dias da Silva, Í., Silva, J.B., Hofmann, M., Linnemann, U., Gärtner, A. (2020). Chronostratigraphic framework and provenance of the Ossa-Morena Zone Carboniferous basins (southwest Iberia). *Solid Earth* 11 (4): 1291-1312. DOI: 10.5194/se-11-1291-2020.
- Ramalho RS, Winckler G, Madeira J, Helffrich GR, Hipólito A, Quartau R, Adena K, Schaefer JM (2015) Hazard potential of volcanic flank collapses raised by new megatsunami evidence. *Science Advances* 1 (9):e1500456. DOI: <https://advances.sciencemag.org/content/advances/1/9/e1500456.full.pdf>
- Smith DJ, Naden J, Miles AJ, Bennett H, Bicknell SH (2018) Mass wasting events and their impact on the formation and preservation of submarine ore deposits. *Ore Geology Reviews* 97:143-151. DOI: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136817309885>
- Wilmsen M, Fürsich FT, Seyed-Emami K, Majidifard MR, Taheri J (2009) The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland. *Terra Nova* 21 (3):211-218. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3121.2009.00876.x>

## **IDL 2021 - 10**

Doutoramento em Geologia

# **O problema da dolomite revisitado: controlos geoquímicos e mineralógicos do processo de dolomitização em ambientes sedimentares e metassomáticos**

### **Orientadores**

Mário A. Gonçalves (FCUL/IDL), José Mirão (UÉvora/HERCULES Lab)

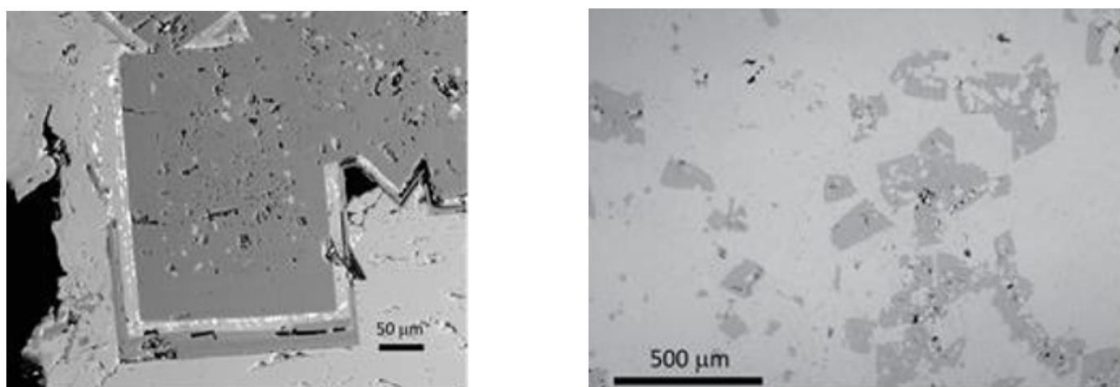
O Laboratório HERCULES fornece o acesso complementar aos meios analíticos requeridos.

### **Resumo**

A formação de dolomite primária, ao invés da dolomitização do carbonato de cálcio, constitui ainda um dilema importante na compreensão dos processos que operam no Planeta Terra, em especial os que determinam os balanços globais de Mg no registo sedimentar, em parte revelados pela ausência de depósitos dolomíticos no registo geológico dos últimos 30-40 milhões de anos. Esta constatação deu origem ao famoso “problema da dolomite”, mas até aos dias de hoje não se conseguiu reproduzir experimentalmente a precipitação de dolomite em condições ambientais de superfície, salvo em condições muito específicas que muito raramente são encontradas nos ambientes sedimentares actuais.<sup>[1,2]</sup> O insucesso das sucessivas tentativas em cristalizar a dolomite são atribuíveis sobretudo a factores cinéticos, enquanto que para o caso das calcites existe uma limitação à incorporação de Mg na sua estrutura, a qual depende da actividade do Mg em solução.<sup>[1]</sup> Existe contudo uma evidência ampla de que as dolomites resultam sobretudo de mecanismos de substituição tardios cujos os detalhes são ainda objecto de debate, incluindo o mecanismo de dissolução/precipitação acoplados com a geração de porosidade e que tem recebido uma larga aceitação.<sup>[3,4,5]</sup> Efectivamente, o volume molar da reacção de substituição da calcite por dolomite é negativo. Desta forma, a formação de dolomite é importante na caracterização da porosidade de reservatórios carbonatados com implicações na evolução sedimentar das bacias, incluindo a aptência como hospedeira de depósitos minerais hidrotermais gerados pelo fluxo e hidrodinâmica de fluidos à escala da própria bacia, assim como a aptência para reservatório de hidrocarbonetos.

O projecto pretende estudar este problema escolhendo para o efeito dois ambientes geológicos em que se reconhecem processos de dolomitização: a Bacia Lusitaniana (BL), uma sequência sedimentar espessa (cerca de 5 km) de idade Mesozóica resultante dos primeiros estádios de abertura do Atlântico, e uma sequência de mármore dolomitizados de idade Paleozóica associados a rochas metavulcânicas na Zona de Ossa Morena

(ZOM). Tem sido demonstrado que as rochas dolomíticas na BL apresentam uma história algo complexa com reacções de desdolomitização frequentes, os quais colocam outros desafios como seja o balanço e destino do Mg no sistema<sup>[6,7]</sup> (Figura 1). Para o efeito, serão seleccionadas frentes de dolomitização de acordo com a sua origem mais provável, seja diagenética (controlada estratigraficamente) seja associada a falhas (discordante às estruturas sedimentares primárias). Cada um destes ambientes será estudado em detalhe através da sua mineralogia e caracterização microscópica das estruturas minerais e suas interfaces. Esta abordagem é combinada com uma caracterização cuidada e detalhada das assinaturas químicas, em especial nos elementos traço e isótopos estáveis. É expectável que esta abordagem permita revelar diferenças entre os processos associados e elucidar que mecanismos de formação da dolomite operam em cada um dos ambientes. O projecto terá à disposição um conjunto de técnicas analíticas de ponta, incluindo microscopia electrónica (SEM Ambiental com EDS e Microsonda Electrónica),  $\mu$ -difracção de Raios-X, LA-ICP-MS,  $\mu$ -FTIR, e Espectrometria de Masa. O equipamento de suporte encontra-se disponível nas instituições parceiras, no entanto técnicas adicionais que possam vir a ser usadas encontram-se igualmente asseguradas através de colaborações internacionais em curso com instituições estrangeiras, incluindo a possibilidade de submeter propostas para o usufruto de tempo de feixe num sincrotrão desde que se verifique a sua necessidade para a resolução das questões associadas ao problema estudado.



**Figura 1. Esquerda:** Imagem de electrões retrodifundidos (BSE) de cristais de dolomite (cinzento escuro) com o bordo recristalizado e o núcleo poroso com relíquias de calcite. Calcite tardia encontra-se a substituir a dolomite ao longo dos planos de clivagem deixando um lastro de (hidr)óxidos de Fe; **Direita:** Imagem BSE de cristais de dolomite (cinzento escuro) parcialmente substituídos por calcite (desdolomitização). Imagem de [7].

## Bibliografia

- [1] Arvidson, R. S. and Mackenzie; F. T. (1999). *Am J. Sci.*, 299: 257-288.
- [2] Warren, J. (2000). *Earth Sci. Rev.*, 52: 1-81.
- [3] Sibley, D.F., Nordeng, S.H. and Borkowski, M. L. (1994). *J. Sedim. Res.*, 64: 630-637.
- [4] Jonas, L., Muller, T., Dohmen, R., Baumgartner, L. and Putlitz, B. (2015). *Geology*, 43: 779-782.
- [5] Putnis, A. (2009). *Rev. Mineral. Geochem.*, 70: 87-124.
- [6] Vuckovic, M. et al. (2017), *Proc. Goldschmidt 2017*, Paris.
- [7] Gonçalves, M.A. et al. (2019), *E3S Web of Conferences*, 98: 01017. doi:10.1051/e3sconf/20199801017.



## IDL 2021 - 11

Doutoramento em Geologia

# Utilização de nanofósseis calcários como indicadores das Alterações Climáticas durante a última Deglaciação

## Orientação

Mário Cachão (Ciências, ULisboa) e Filipa Naughton (IPMA)

## Objectivos

Um registo contínuo de alta resolução obtido a partir de sondagem *offshore* ao largo da costa ocidental da Península Ibérica (core MD03-2697) será utilizado para validar a utilização de nanofósseis calcários como indicadores paleoclimáticos durante a última Deglaciação (18-11 kyrs Cal BP).

A influência de factores oceanográficos locais (correntes ao largo da Ibéria), regionais (Atlântico Norte) e globais (forçamento solar e/ou astronómico) será investigada na sequência de publicações recentes utilizando quer dados reais quer modelação (Naughton *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2020).

Particular atenção será dada às formas menos abundantes em detrimento à abordagem tradicional dos trabalhos paleoceanográficos que se baseia essencialmente nas abundâncias absolutas e/ou relativas dum número reduzido de *taxa* mais abundantes das associações de nanofósseis calcários.

## Motivação e sumário

As alterações climáticas de grande magnitude continuam a ser um dos tópicos de maior relevância em termos da moderna investigação em paleoceanografia. A maioria dos trabalhos realizados num dos grupos mais prolíficos de microfósseis dos oceanos, os nanofósseis calcários, assenta no comportamento dum grupo restrito de *taxa* que inclui os mais abundantes/frequentes em amostras de sedimentos oceânicos, nomeadamente, *Emiliania huxleyi* e Gephyrocapsídeos (habitantes da Zona Fótica Superior) e *Florisphaera profunda* (típico habitante da Zona Fótica Inferior). Daqui tem resultado grandes disparidades na interpretação realizada por distintos autores a respeito de um grande número de outros *taxa* que são sistematicamente mal representados nas metodologias de contagem tradicionais. Neste trabalho ir-se-á comparar a abordagem tradicional com novas metodologias especialmente definidas para formas raras, incluindo maior robustez dos dados através da inclusão de replicados, para validar pressupostos paleoecológicos e paleoceanográficos de nanno-proxies.

Complementarmente, ir-se-á testar o uso de metodologias recentemente definidas pela nossa escola, baseadas em morfometria de placólitos de *C. pelagicus* s.l. (Parente *et al.*, 2004; Prista *et al.*, 2020) como um indicador de produtividade marinha numa região sujeita a afloramento costeiro sazonal e a sua resposta a alterações climáticas à escala regional (Prista *et al.*, 2020).

## Referências

Hernández, A.; Cachão, M.; Sousa, P.; Trigo, R.M.; Luterbacher, J.; Vaquero, J. M. & Freitas, M. C. (2020, accepted) - External forcing mechanisms controlling the North Atlantic coastal upwelling regime during the mid-Holocene. *Geology*. DOI: 10.1130/G48112.1

Naughton, F.; Sanchez Goñi, M.F.; Rodrigues, T.; Salgueiro, E.; Costas, S.; Desprat, S.; Duprat, J.; Michel, E.; Rossignol, L.; Zaragosi, S.; Voelker, A.H.L. & Abrantes, F. (2016) - Climate variability across the last deglaciation in NW Iberia and its Margin. *Quaternary International*, 414: 9-22.

Parente, A.; Cachão, M., Baumman, K.-H.; de Abreu, L. & Ferreira, J. (2004) - Morphometry of *Coccolithus pelagicus* s.l. (Coccolithophore, Haptophyta) from offshore Portugal, during the last 200 kyr.

*Micropaleontology*, 50 (Supplem 1): 107-120.

Prista, G., Narciso, A. & Cachão, M. (2020) - *Coccolithus pelagicus* subsp. *braarudii* morphological plasticity as a response to variations in the upwelling regime of the west coast of Iberia. *Micropaleontology*, 66 (6): 549-571.

## **IDL 2021 - 12**

Doutoramento em Geologia (Geodinâmica Interna)

# **A geodinâmica da Junção Tripla dos Açores**

### **Orientação**

João Duarte, Ricardo Ramalho (IDL/FCUL), Rui Quartau (IDL/IH)

Parte do trabalho será realizado na UCL, Londres (UK)

### **Resumo**

A Junção Tripla dos Açores é uma estrutura tectónica complexa que marca a fronteira entre as placas tectónicas Norte-Americana, Euroasiática e Núbia, e que há décadas tem atraído a atenção de investigadores em geodinâmica. Interpretada como o resultado da interação entre uma pluma mantélica e a Crista Médio Atlântica (MAR), a evolução e mecanismos por trás da dinâmica desta fronteira difusa de placas estão ainda longe de serem compreendidos, restando várias questões controversas por responder. Uma das questões mais proeminentes diz respeito às interações magmático-tectónicas complexas e o seu papel na criação de algumas das estruturas morfo-tectónicas principais na zona, nomeadamente a alternância entre bacias profundas e altos edifícios vulcânicos ao longo do rift de alastramento lento da Terceira. Outras questões a serem respondidas dizem respeito à ativação/desativação/reactivação de sistemas de rift locais, a ocorrência de “rift jumps”, assim como a ligação entre o Rift da Terceira, a MAR, e a Falha da Glória, no contexto das forças de transtensão que atuam na região, assim como a possível influência de uma pluma mantélica.

O projeto proposto destina-se a revisitar e analisar várias destas questões e investigar a evolução da Junção Tripla dos Açores no seu contexto geodinâmico geral. O projeto irá usar uma combinação de cartografia morfo-tectónica dos fundos marinhos, análise de mecanismos focais, assim como modelação análoga e numérica. Crucialmente, o projeto irá compilar e explorar um conjunto de dados de geofísica marinha de alta resolução, assim como dados de neotectónica “onshore”, adquiridos nos últimos anos por várias fontes, para produzir um mapa estrutural atualizado da região. O projeto irá igualmente tirar partido de inversões recentes de tensor de momento sísmico e novos dados coletados durante a campanha de sismómetros de fundo marinho a realizar em breve no âmbito do projeto UPFLOW (em colaboração com A. Ferreira, UCL, IP deste projeto), para formular uma melhor imagem do campo de stress na região e para correlacionar com as estruturas do fundo marinho cartografadas na primeira fase. Finalmente o projeto irá explorar os mecanismos atrás da origem, evolução e implicações geodinâmicas da Junção Tripla dos Açores, através de uma combinação entre modelação análoga e numérica usando o software UNDERWORLD, potencialmente resolvendo problemas chave tais como rifting oblíquo, localização de rifting e “rift jumps”, assim como a interação crista-pluma. Espera-se que o projeto irá resultar numa perspetiva moderna e atualizada da Junção Tripla dos Açores, com implicações na geodinâmica global, assim como perigosidade e recursos no contexto do Nordeste do Atlântico.



## Referências

- Adam, C., Madureira, P., Miranda, J.M., Lourenço, N., Yoshida, M., Fitzenz, D., 2013. Mantle dynamics and characteristics of the Azores plateau. *Earth Planet. Sci. Lett.* 362, 258-271.
- Beier, C., Haase, K.M., Abouchami, W., 2015. Geochemical and geochronological constraints on the evolution of the Azores Plateau. *Geological Society of America Special Papers* 511.
- Ferreira, A.M.G., Marignier, A., Attanayake, J., Frietsch, M., Berbellini, A., 2020. Crustal structure of the Azores Archipelago from Rayleigh wave ellipticity data. *Geophysical Journal International* 221, 1232-1247.
- Frietsch, M., Ferreira, A.M.G., Vales, D. and Carrilho, F., 2018. On the robustness of seismic moment tensor inversions for mid-ocean earthquakes: the Azores archipelago. *Geophysical Journal International*, 215(1), pp.564-584.
- Gente, P., Dymant, J., Maia, M., Goslin, J., 2003. Interaction between the Mid-Atlantic Ridge and the Azores hot spot during the last 85 Myr: Emplacement and rifting of the hot spot-derived plateaus. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8514.
- Lourenço, N., Miranda, J.M., Luís, J.F., Ribeiro, A., Mendes Victor, L.A., Madeira, J., Needham, H.D., 1998. Morpho-tectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. *Mar. Geophys. Res.* 20, 141-156.
- Madeira, J., Brum da Silveira, A., Hipólito, A., Carmo, R., 2015. Active tectonics in the central and eastern Azores islands along the Eurasia–Nubia boundary: a review, in: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S., Chester, D.K. (Eds.), *Geological Society, London, Memoirs*, 44, pp. 15-32.
- Marques, F.O., Catalão, J.C., DeMets, C., Costa, A.C.G., Hildenbrand, A., 2013. GPS and tectonic evidence for a diffuse plate boundary at the Azores Triple Junction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 381, 177-187.
- Miranda, J.M., Luís, J., Lourenço, N., 2018. The Tectonic Evolution of the Azores based on magnetic data, in: Kueppers, U., Beier, C. (Eds.), *Volcanoes of the Azores*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 89-100.
- Neves, M.C., Miranda, J.M., Luis, J.F., 2013. The role of lithospheric processes on the development of linear volcanic ridges in the Azores. *Tectonophysics* 608, 376-388.

## IDL 2021 – 13

Doutoramento em Geologia

# Análise da paleoecologia de dinossáurios terópodes do Jurássico de Portugal com base em modelagem biomecânica

## Orientação

Elisabete Malafaia (IDL), Francisco Ortega (UNED)

Parte do trabalho proposto será desenvolvido na Universidad Nacional de Educación a Distancia - UNED, Madrid.

## Objectivos

**Objectivos gerais:** (1) compreender a paleoecologia de dinossáurios terópodes do Jurássico Superior da Bacia Lusitânica; (2) testar a existência de padrões relacionados com partição de nichos ecológicos que possa explicar a elevada diversidade de terópodes no Jurássico Superior da Bacia Lusitânica. **Objectivos específicos:** (1) identificar diferentes hábitos alimentares entre os distintos grupos de dinossáurios carnívoros de médio e grande porte descritos no Jurássico Superior; (2) determinar a ecologia trófica para a fauna de terópodes do Jurássico Superior da Bacia Lusitânica; (3) identificar possíveis padrões comportamentais e/ou segregação espacial na fauna de terópodes do Jurássico Superior; (4) compreender o contexto paleoambiental e

paleoecológico da fauna de terópodes do Jurássico Superior nas regiões peri-Atlânticas; (5) compreender o impacto de diferentes adaptações ecológicas na história evolutiva da fauna de terópodes durante o Jurássico Superior na Bacia Lusitânica.

### **Motivação e Resumo**

Os níveis sedimentares mesozoicos da Bacia Lusitânica (região centro-oeste de Portugal) têm proporcionado um dos melhores registos de vertebrados continentais do Jurássico Superior da Europa. A abundância e diversidade deste registo são comparáveis aos registos clássicos da Morrison de Formation (região este da América do Norte). Alguns dos vertebrados mais abundantes identificados no registo português são os dinossáurios terópodes. Este registo está composto por uma diversa fauna de formas basais de terópodes de médio e grande porte (1, 2, 3, 4) juntamente com materiais atribuídos a pequenos terópodes mais derivados (5). Apesar da Bacia Lusitânica ter uma extensão de apenas 15 800 km<sup>2</sup> (comparada com os 6 000 000 km<sup>2</sup> de área da Formação de Morrison) e dos níveis do Jurássico Superior com fósseis de terópodes representarem um período temporal de c. 10 milhões de anos, pelo menos cinco taxa de terópodes de médio e grande porte estão presentes nos mesmos níveis estratigráficos e poderão ter coexistido em condições de simpatria e sincronia. Esta diversidade de predadores num nicho ecológico de recursos limitados é paradoxal e poderá indicar algum tipo de partição ambiental. Apesar deste padrão ecológico estar bem documentado em faunas actuais é um desafio identificar a existência de partição ambiental em ecossistemas mesozoicos. Têm sido identificadas em diferentes terópodes algumas especializações morfológicas associadas com determinadas ecologias, como por exemplo ossos paquiostóticos e narinas localizadas numa posição dorsal nos crânios de espinossáurios aquáticos (6), garras adaptadas a escavar em alvarezsaurídeos (7), ou bicos sem dentes em clados herbívoros (8). Apesar disso, a maioria dos grupos não têm adaptações óbvias associadas com dietas específicas e por isso a paleoecologia de terópodes, em particular as relações entre espécies simpátricas, é em geral mal compreendida. Este projecto pretende explorar novas linhas de investigação, focadas sobretudo na modelagem biomecânica e análises de morfoespaços funcionais, para compreender melhor a paleoecologia de terópodes do Jurássico Superior.

### **Metodologia**

As hipóteses ecológicas serão testadas através de análises de biomecânica comparada (incluindo modelagem 3-D, reconstituição miológica e análise de elementos finitos – AEF) nos diferentes taxa de terópodes de médio e grande porte identificados no Jurássico Superior da Bacia Lusitânica, bem como em níveis correlativos de outras áreas peri-Atlânticas, em particular da Formação de Morrison. A abordagem biomecânica incluirá a digitalização de elementos esqueléticos, produção de modelos de esqueletos em 3-D, reconstituição dos volumes de musculatura e tecidos moles, desenvolvimento de modelos digitais musculoesqueléticos e realização de simulações biomecânicas. Com base nas ferramentas biomecânicas espera-se quantificar diferenças funcionais de distintos sistemas esqueléticos entre os taxa representados. Atendendo à disponibilidade de diversos exemplares bastante completos e bem preservados de materiais cranianos conhecidos no registo fóssil português, uma atenção particular será dada à realização de análises para testar como é que os crânios de dinossáurios terópodes reagem a forças de tensão e extensão. Espera-se que esta análise forneça dados que permitam interpretar o comportamento alimentar de alguns taxa chave.

### **Referências**

- (1) Antunes M.T. & Mateus O. (2003) Dinosaurs of Portugal. *CR Palevol* **2**, 77–95.
- (2) Ortega F., Escaso F., Gasulla J.M., Dantas P. & Sanz J.L. (2006) Dinosaurs from the Iberian Peninsula. *Estud Geol* **62**, 219–240.
- (3) Hendrickx C. & Mateus O. (2014). Abelisauridae (Dinosauria: Theropoda) from the Late Jurassic of Portugal and dentition-based phylogeny as a contribution for the identification of isolated theropod teeth. *Zootaxa* **3759**, 1–74.

- (4) Malafaia E., Mocho P., Escaso F. & Ortega F. (2020) A new carcharodontosaurian theropod from the Lusitanian Basin: evidence of allosauroid sympatry in the European Late Jurassic, *J Vertebr Paleontol* **40**, DOI: 10.1080/02724634.2020.1768106
- (5) Zinke J. (1998) Small theropod teeth from the Upper Jurassic coal mine of Guimarães (Portugal). *Paläontol Z* **72**, 179–189.
- (6) Ibrahim N., Sereno P., Dal Sasso C., Maganuco S., Fabbri M., Martill D.M., Zouhri S., Myhrvold N. & Lurino D.A. (2014) Semiaquatic adaptations in a giant predatory dinosaur. *Science*, <https://doi.org/10.1126/science.1258750>
- (7) Chiappe L.M., Norell M.A. & Clark J.M. (2002) The Cretaceous, short-armed Alvarezsauridae: *Mononykus* and its kin. In: *Mesozoic birds: above the heads of dinosaurs*, 87–120.
- (8) Zanno L.E. & Makovicky P.J. (2010) Herbivorous ecomorphology and specialization patterns in theropod dinosaur evolution. *Proc Natl Acad Sci USA* **108**, 232–237.

## IDL 2021 - 14

Doutoramento em Geologia

# Modelação de Nicho Ecológico (ENM), uma ferramenta para compreender a diversidade de saurópodes durante a transição Jurássico Superior-Cretácico Inferior na região do Atlântico Norte-Tétis

## Orientação

Pedro Mocho (IDL, Portugal), Francisco Ortega (UNED, Madrid, Espanha)

Parte do trabalho de investigação será realizado em colaboração com o Grupo de Biologia Evolutiva, UNED.

## Resumo

A transição Jurássico-Cretácico Inferior é um momento crítico para a história evolutiva e diversificação de várias linhagens de vertebrados continentais, incluindo um importante evento de substituição de faunas durante as primeiras épocas do Cretácico na região do Atlântico Norte-Tétis. Contudo, o ritmo e os mecanismos que conduzem à substituição de vários de grupos de vertebrados bem estabelecidos no período Jurássico pelas linhagens evolutivas emergentes no Jurássico Superior-Cretácico Inferior é ainda desconhecido. Este estudo está centrado na análise da diversidade e de adequabilidade de nicho demonstrados pelos dinossáurios saurópodes durante este período. Os saurópodes são um grupo de dinossáurios saurísquios herbívoros que preserva um dos registos fóssil abundante ao longo de quase todo o mesozoico e em todos os continentes. Estes dinossáurios foram caracterizados por apresentar um amplo intervalo de tamanhos, e algumas das suas formas tornaram-se nos maiores animais terrestres até hoje conhecidos (e.g. Cashmore et al. 2020).

Recentemente, o registo de saurópodes do Jurássico Superior tem sido foco de numerosos estudos que têm revelado a existência de faunas diversas (e.g. Tschoep et al. 2015; Mocho et al. 2017). Esta elevada diversidade sucede-se a um importante pico na diversidade de dinossáurios saurópodes que está relacionado com a radiação do grupo Neosauropoda. Esta radiação ocorreu possivelmente antes do Jurássico Médio e num momento em que a Pangeia constituía ainda uma massa continental coesa (e.g. Xü et al. 2018). Com a evolução da região do

Atlântico Norte-Tétis e da abertura do Atlântico Norte, a Península Ibérica corresponde a um território chave para a dispersão de várias linhagens de saurópodes durante o período Jurássico. Porém, no Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano) as faunas de saurópodes apresentam uma diversidade marcadamente distinta daqueles que caracteriza as faunas do Jurássico Superior (e.g. Torcida Fernández-Baldor et al., 2017). Esta alteração na composição das faunas é pouco conhecida e terá ocorrido durante limite Jurássico Superior-Cretácico Inferior, resultando na redução do número de espécies e na substituição turiasáurios, macronários basais e diplodocídeos por outras formas de clado Neosauropoda atribuídas a Rebbachisauridea e Somphospondylii. Alguns autores relacionaram este decréscimo de diversidade a um evento de extinção que estaria relacionado com significativas alterações ambientais que afetaram a flora, e consequentemente, as fontes de alimentação de grupos de saurópodes com dentes mesiodistalmente alargados (e.g. Cashmore et al. 2020)

O registo fóssil do Jurássico Superior-Cretácico Inferior da América do Norte e da Europa (especialmente o registo da Península Ibérica) apresenta uma boa oportunidade para analisar esta problemática. Grande parte deste registo fóssil encontra-se datado de forma detalhada e está inserido em sequências sedimentares relativamente contínuas (e.g. Formação de Morrison, Jurássico Superior, EUA; Formação da Lourinhã, Jurássico Superior, Portugal; Formação de Cedar Mountain, Cretácico Inferior, EUA). Porém, este registo fóssil apresenta importantes vieses espaciais e temporais, especialmente relacionados com o registo dos primeiros estágios do Cretácico Inferior (Berriasiano) e com o registo proveniente da região este da América do Norte. Este projeto de investigação pretende aplicar de forma exploratória a Modelação de Nicho Ecológico (Ecological Niche Modelling, ENM) para testar as seguintes hipóteses (H). **H1.** A adequabilidade do nicho para dinossáurios saurópodes durante o Jurássico Superior é marcadamente diferente da observada durante o Cretácico Inferior. **H2.** Existe uma degradação no habitat dos dinossáurios saurópodes no final no limite Jurássico Superior-Cretácico Inferior. **H3.** A Península Ibérica apresenta uma maior adequabilidade de nicho que o Oeste dos Estados Unidos da América durante o Jurássico Superior, e que está correlacionada com diferentes condições paleoclimatológicas.

ENM usa algoritmos de modelação em unidades taxonómicas (que também será aplicado ao registo icnológico), emparelhado com parâmetros ambientais e climáticos, com o objetivo de obter uma representação multivariante do hiperespaço no qual as espécies são fisiologicamente e reprodutivamente estáveis (ver Chiarenza et al. 2019). O desempenho de ENM permitirá obter um mapa de distribuição da adequabilidade ambiental para dinossáurios saurópodes considerando diferentes cenários geográficos e climáticos. Estes mapas poderão constituir uma importante ferramenta para analisar os efeitos das alterações ambientais nos possíveis nichos ecológicos dos grupos representados no Jurássico Superior-Cretácico Inferior. A utilização de Modelos Digitais de Terreno atualizados (Digital Elevation Models, DEMs) para o Jurássico Superior-Cretácico Inferior (e.g. Lunt et al. 2016) e dos resultados provenientes do *HadCM3L climate model*, aplicaremos o ENM para deduzir a habitabilidade da América do Norte e da região oeste do continente Europeu durante o Jurássico Superior-Cretácico Inferior [163.5–100.5 Ma] para os dinossáurios saurópodes. A informação obtida será usada para simular e quantificar a adequabilidade do habitat para grupos específicos (Turiasauria, Diplodocoidea e Macronaria). ENM permitirá mapear a dinâmica dos espaços ocupados por estes nichos ecológicos potenciais para saurópodes ao longo do tempo em resposta a diversos fatores físicos, refinando o nosso conhecimento sobre possíveis flutuações na distribuição espaciotemporal destes clados.

## Referências

- Cashmore, D.D., P.D. Mannion, P. Upchurch, R.J. Butler, 2020: Ten more years of discovery: revisiting the quality of the sauropodomorph dinosaur fossil record. *Palaeontology*. Doi: [10.1111/pala.12496](https://doi.org/10.1111/pala.12496).
- Chiarenza, A.A., P.D. Mannion, D.J. Lunt, A. Farnsworth, L.A. Jones, S-J. Kelland and P.A. Allison, 2019: Ecological niche modelling does not support climatically-driven dinosaur diversity decline before the Cretaceous/Paleogene mass extinction. *Nature Communications*, 10,1091. Doi: [10.1038/s41467-019-08997-2](https://doi.org/10.1038/s41467-019-08997-2)

- Lunt, D.J., A. Farnsworth, C. Loptson, G.L. Foster, P. Markwick, C.L. O'Brien, R.D. Pancost, S.A. Robinson, and N. Wrobel. 2016: Palaeogeographic controls on climate and proxy interpretation. *Climate of the Past*, 12: 1181-1198. Doi: [10.5194/cp-12-1181-2016](https://doi.org/10.5194/cp-12-1181-2016).
- Mocho, P., R. Royo-Torres, F. Escaso, E. Malafaia, C. de Miguel Chaves, I. Narváez, A. Pérez-García, N. Pimentel, B. C. Silva, and F. Ortega. 2017: Upper Jurassic sauropod record in the Lusitanian Basin (Portugal): geographical and lithostratigraphical distribution. *Palaeontologia Electronica*, 20, 27A. Doi: [10.26879/662](https://doi.org/10.26879/662).
- Torcida Fernández-Baldor, F., J.I. Canudo, P. Huerta, M. Moreno-Azanza and D. Montero, 2017: *Europatitan eastwoodi*, a new sauropod from the lower Cretaceous of Iberia in the initial radiation of somphospondylans in Laurasia. *PeerJ*, 5,e3409. Doi: [10.7717/peerj.3409](https://doi.org/10.7717/peerj.3409)
- Tschopp, E., O. Mateus and R. Benson, 2015: A specimen-level phylogenetic analysis and taxonomic revision of Diplodocidae (Dinosauria, Sauropoda). *PeerJ*, 3:e857. Doi: [10.7717/peerj.857](https://doi.org/10.7717/peerj.857)
- Xu, X., P. Upchurch, P.D. Mannion, P.M. Barrett, O. R. Regalado-Fernandez, J. Mo, J. Ma, H. Liu, 2018: A new Middle Jurassic diplodocoid suggests an earlier dispersal and diversification of sauropod dinosaurs. *Nature Communications*, 9:2700. Doi: [10.1038/s41467-018-05128-1](https://doi.org/10.1038/s41467-018-05128-1)

## IDL 2021 – 15

Doutoramento em Geologia (Geoquímica)

# Evolução petrológica do limite crosta inferior – manto exumado no Norte de Marrocos: uma análise geoquímica e termocronológica

## Orientação

Telmo Bento dos Santos (IDL) e José Francisco Santos (Universidade de Aveiro)

Parte do trabalho será realizado na Universidade de Aveiro (Portugal) e na Universidade de Brasília (Brasil)

## Resumo

A exumação de rochas da crosta inferior ao longo de zonas de cisalhamento é comum [e.g.: 1], no entanto, um assunto muito debatido. Menos comum é a exumação de rochas do manto superior ao longo destas descontinuidades estruturais. No entanto, é este o caso da Zona de Cisalhamento do Sul do Rif (ZCSR), uma zona de cisalhamento de primeira ordem que separa dois importantes domínios geodinâmicos no norte de Marrocos: a) o Rif, a norte, composto essencialmente por unidades sedimentares miocénicas; e b) a Meseta Ocidental, a sul, composta essencialmente por unidades metassedimentares paleozoicas, correlacionáveis com a Cadeia Varisca Ibérica [2]. Associada à ZCSR, e exumada pela sua atividade, ocorre uma larga faixa metamórfica de alto grau composto por abundantes rochas na fácies granulítica e anfibolítica e uma sequência exótica de rochas máficas e ultramáficas, representativas do manto superior [3].

Várias linhas de evidência sugerem que esta zona de cisalhamento é coeva e correlacionável com os eventos tectónicos que formaram a Cordilheira Bética em Espanha [2]. Embora a ZCSR exponha estas rochas, tornando-

as acessíveis para o estudo e estejam bem preservadas, estudos comparativos de petrologia, geoquímica e isotópicos neste segmento do limite crosta inferior – manto estão ainda por realizar, impedindo a completa caracterização deste importante testemunho das condições infracrustais da geodinâmica pré-Alpina e a descrição da atividade e exumação ao longo da ZCSR. Este projeto irá, portanto, ser desenvolvido ao longo de 2 eixos e objetivos principais: 1) a caracterização da evolução petrológica e geoquímica das rochas ígneas e metamórficas expostas neste segmento; e 2) a definição da evolução P-T-t das rochas estudadas no contexto do processo de exumação e da evolução geodinâmica global dos eventos variscos e alpinos.

### **Plano de Trabalhos**

De modo a atingir o Objetivo Principal 1, será necessário:

- a) Realizar trabalho de campo e amostragem na região de Moulay Yacoub (norte de Marrocos) com cartografia geológica detalhada e análise estratigráfica e estrutural em diferentes sectores da área de estudo;
- b) Obter informação da natureza petrográfica, petrológica, litogeoquímica e isotópica das rochas associadas à ZCSR;
- c) Realizar análises geoquímicas e modelação das condições físico-químicas prevalecentes durante a formação e evolução por cristalização fracionada dos diferentes tipos de rochas ígneas e a evolução metamórfica de todos os litótipos [como em 4];
- d) Integrar os dados obtidos de modo a compreender a evolução petrológicas e interação entre reservatórios litosféricos profundos.

De modo a atingir o Objetivo Principal 2, será necessário utilizar os dados obtidos nas tarefas anteriores e ainda:

- e) realizar análises micro- e macrostruturais exaustivas, permitindo a definição e caracterização dos eventos de deformação que afetaram a região e suas relações com a atividade da ZCSR;
- f) caracterizar do ponto de vista qualitativo e quantitativo as relações entre deformação e metamorfismo (paragéneses minerais, quimismo e geotermobarometria) durante os estágios dos eventos variscos e alpinos;
- g) obter dados geocronológicos para as rochas associadas à ZCSR usando sistemas isotópicos robustos (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr e Ar-Ar) e sua integração termocronológica para determinar a duração dos eventos tectonometamórficos e as taxas de exumação relacionadas com a atividade da ZCSR [como em 1; 5];
- h) construir modelos petrológicos e geoquímicos para a atividade da ZCSR, constranger a evolução alpina no norte de Marrocos e compará-la com o análogo ibérico da Cordilheira Bética.

Adicionalmente, este doutoramento levará a um maior conhecimento global relativo: a) à estrutura, geometria, funcionamento e evolução das zonas de cisalhamento; b) à interação entre diferentes reservatórios geoquímicos (e.g.: transferência de calor e massa no limite crosta/manto) durante os eventos orogénicos; e c) ao conhecimento da circulação de fluidos e calor ao longo de zonas de cisalhamento, crucial para compreender com detalhe o fluxo de águas subterrâneas desta importante região termal.

### **Referências**

- [1] Bento dos Santos, T., Munhá, J.M.U., Tassinari, C.C.G., Fonseca, P.E., Dias Neto, C.M., 2010. Thermochronology of central Ribeira Fold Belt, SE Brazil: Petrological and geochronological evidence for high-



temperature maintenance during Western Gondwana amalgamation. *Precambrian Research*, 180, 3-4, 285-298.

[2] Michard, A., Frizon de Lamotte, D., Saddiqi, O., Chalouan, A., 2008. An Outline of the Geology of Morocco. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, 116, Springer-Verlag, 1-32.

[3] Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, Kh., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I., Saddiqi, O., 2008. The Rif Belt. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, 116, Springer-Verlag, 203-302.

[4] Garrido, C.J., Gueydan, F., Booth-Rea, G., Précigout, J., Hidas, K., Padron-Navarta, J.A., Marchesi, C., 2011. Garnet lherzolite and garnet–spinel mylonite in the Ronda peridotite: vestiges of Oligocene backarc mantle lithospheric extension in the western Mediterranean. *Geology*, 39, 927-930.

[5] Ferreira, J.A., Bento dos Santos, T., Pereira, I., Mata, J., 2019. Tectonically assisted exhumation and cooling of Variscan granites in an anatectic complex of the Central Iberian Zone, Portugal: constraints from LA-ICP-MS zircon and apatite U–Pb ages. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 2153-2175.

## **IDL 2021 - 16**

Doutoramento em Geologia

# **Revelar o registo da estratigrafia sequencial com Sísmica de Reflexão de Ultra-Alta Resolução**

### **Orientação**

Pedro Terrinha (1,2), Henrique Duarte (3), Pedro Brito (1,2)

1- IDL, Instituto Dom Luiz

2- IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera

3- Geosurveys

### **Objetivos**

Cartografia e caracterização de objectos geológicos e respectivos ambientes de formação com base em interpretação de conjuntos de dados 2D/3D de sísmica de reflexão de ultra-alta resolução (UHRs), ou seja, com resolução vertical de aproximadamente 5 cm. Os dados provêm de sistemas sedimentares costeiros e serão correlacionados com ambientes actuais ou recentes em afloramentos.

Avaliação da variabilidade espacial e temporal de ambientes sedimentares costeiros, da sua arquitectura estratigráfica e respectivos factores ambientais condicionantes, nomeadamente as variações eustáticas do nível do mar, a neotectónica, a tectónica glacial, a isostasia, o balanço sedimentar e o clima.

Explorar como as novas capacidades de visualização da sísmica 3D à escala do afloramento de sistemas costeiros sujeitos a grandes mudanças de alta frequência pode contribuir para compreender melhor estes sistemas e a sua variação temporal rápida, trazendo um melhor entendimento destes ambientes e evitando armadilhas na interpretação de sísmica 2D de afloramentos emersos.



## Sumário

Avanços técnicos recentes levaram ao desenvolvimento de conjuntos de equipamentos ligeiros de aquisição de sísmica de reflexão multicanal de ultra-alta resolução (UHRs) com frequência até 2.5 kHz que permitem criar imagens da estratigrafia costeira com resolução vertical comparável àquela com que se observam os afloramentos no campo. A produção de mapas de áreas submarinas extensas beneficia da aquisição contínua em meio marinho (livre de obstruções ou hiatos de observação) que permitem levantamentos regulares.

Esta capacidade de “imageamento” sem precedentes, capaz de produzir volumes sísmicos com um “bin size” de 1m (Monrigal, 2017) e penetrações de sinal nos sedimentos da ordem de centenas de milissegundos (100msec~75 m) abrem novas perspectivas à utilização da UHRs (Duarte, 2017). A indústria marítima já reconhece o potencial desta tecnologia, demonstrado pela sua crescente aplicação na avaliação geotécnica, nomeadamente para as fundações de turbinas eólicas. Embora a difusão desta tecnologia no meio académico seja ainda limitada, cabe à academia desenvolver a exploração conceptual mais abrangente destes recursos, uma vez que isso está para além dos objectivos da indústria.

Esta tese de doutoramento utilizará dados regionais 2D/3D de UHRs adquiridos quer pela indústria quer pela academia em diferentes ambientes costeiros (oeste e sul da Península Ibérica, costa leste dos Estados Unidos da América e Mar do Norte), sondagens de sedimentos marinhos e afloramentos análogos costeiros actuais. O objectivo é atingir novos padrões de interpretação sísmica e nova visão sobre a altamente variável arquitectura dos ambientes costeiros. Para além de considerar as variações eustáticas do nível do mar e o balanço sedimentar, consideraremos outras contribuições como a neotectónica, a isostasia glacial, e as contribuições oceanográficas e climáticas.

## Bibliografia

- Monrigal, O., Jong, I.D., Duarte, H., 2017. An ultra-high-resolution 3D marine seismic system for detailed site investigation. *Near Surface Geophysics* 15, 335-345.
- Duarte, H., Wardell, N., Monrigal, O., 2017. Advanced processing for UHR3D shallow marine seismic surveys. *Near Surface Geophysics* 15, 347-358.

## IDL 2021 – 17

Doutoramento em Geologia

# Reconstrução paleoambiental da costa norte portuguesa desde o Pleistocénico superior

## Orientação

Teresa Drago (IDL, IPMA) & Maria da Conceição Freitas (IDL, FCUL)

O presente trabalho será desenvolvido no Departamento de Geologia da FCUL, no IPMA-Tavira (Algarve) e no Departamento de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio da Universidade de Vigo.

## Introdução

A reconstrução de paleoambientes é essencial para entender como os ambientes foram sucessivamente mudando e como as sociedades modernas se devem preparar para as mudanças futuras. Em particular, é necessário distinguir as mudanças provocadas por fatores globais e locais, de modo a que o planeamento e

gestão costeira leve em consideração a resposta dos estuários aos fatores forçadores a escalas de tempo que vão desde a centena aos milhares de anos (Gilman *et al.*, 2008). Esse conhecimento é essencial para minimizar os impactos na interface terra-oceano das modificações do nível do mar, e em particular o da sua subida (García-Artola, 2018).

Entre os diferentes ambientes deposicionais, os sistemas estuarinos são locais privilegiados para estudar as mudanças do nível do mar, pois são “um ponto de encontro” das influências continentais e marinhas. O estudo de seu registo sedimentar pode ser bastante útil para entender a sua evolução, particularmente desde o último máximo glaciário e da subsequente subida do nível do mar.

Em Portugal, os estudos paleoambientais que permitem o estabelecimento de modelos de evolução do Pleistocénico /Holocénico foram realizados principalmente em três regiões em Portugal: nos estuários do norte, Douro (Drago *et al.*, 2006) e Minho (Alvarez-Iglesias *et al.*, 2009; Leorri *et al.*, 2009; *al.*, 2013); nos sistemas lagunares/estuarinos do sudoeste português (Freitas *et al.*, 2002; Freitas & Andrade, 2005) e no estuário do Guadiana (Camacho *et al.*, 2016).

### **Objectivos**

Esta proposta visa a elaboração de um modelo paleoambiental global para os estuários do norte de Portugal, com base na revisão dos dados pré-existentes do registo sedimentar dos estuários do Douro e do Minho e com o estudo detalhado e multidisciplinar de sondagens de mais um estuário do norte, o Lima. Neste modelo conceptual, tentar-se-á diferenciar os fatores forçadores das variações ambientais, globais e regionais, que contribuíram para a evolução do respetivo estuário.

Os resultados obtidos serão comparados também com os existentes sobre as rias galegas (Clemente *et al.*, 2004; Villanueva *et al.*, 2015) através de uma colaboração com a Universidade de Vigo (Departamento de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio) e também com os modelos paleoambientais propostos para a costa sudoeste de Portugal e estuário do Guadiana (costa S).

### **Metodologia**

O estudo da sondagem do estuário de Lima incluirá a utilização de alguns equipamentos recentemente adquiridos pelo IPMA, como os Raios-X com Tomografia Computadorizada (CT), Multi Sensor Corer Logger (MSCL), Fluorescência de Raios-X (XRF) e o microscópio confocal de Micro-Raman que permitem efetuar uma análise com maior detalhe e a comparação destes resultados com trabalhos anteriores. Esta análise de dados incluirá ainda a análise granulométrica de alta resolução, e análise do carbonato de cálcio e do teor de matéria orgânica. Este estudo contribuirá para o conhecimento das fontes sedimentares (através da composição mineralógica do sedimento) e as condições deposicionais e pós-deposicionais. Quando adequado, serão ainda realizadas análises de C e N elementar e isotópico (carbono orgânico total (% Corg), azoto total (% N),  $\delta^{13}\text{CVPDB}$  e  $\delta^{15}\text{NAIR}$ ) com o objetivo de conhecer a fonte de matéria orgânica e estabelecer a influência marinha e terrestre. Por último, a revisão dos dados/resultados obtidos para os estuários do Douro e do Minho será complementada, quando necessário, com a metodologia acima mencionada.

### **Referências**

- Álvarez-Iglesias, P., Araújo, M.F., Gouveia, A. & Drago, T. (2009) - Geochemical analysis of Minho estuary sedimentary record and its contribution to palaeoenvironmental evolution. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 281, pp 247-251.
- Camacho, S., Boski T., Moura, D., Scott, D., Connor, S. & Pereira, L. (2016) - Paleoenvironmental evolution of the Guadiana Estuary, Portugal, during the Holocene: A modern foraminifera analog approach. *The Holocene* 27(2), pp 197–235

- Clemente, F., Perez-Arlucea, M., Alejo, I., Frances, G., Gonzalez, D., Nombela, M. Mendez, G.L.A. (2004) – Transgresion Holocena en la Ria de Vigo (Rias Baixas, Galicia): registro sedimentario en la zona costera. *VI Congreso Geológico de España*, Zaragoza, Geotemas, 6, 4, pp 207-210.
- Drago, T., Freitas, C., Rocha, F., Moreno, J., Cachão, M., Naughton, F., Fradique, C., Araújo, F., Silveira, T., Oliveira, A., Cascalho, J., Fatela, F. (2006) - Paleoenvironmental Evolution of Estuarine Systems During the Last 14000 Years - the Case of Douro Estuary (NW Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 39, pp 186 – 192, ICS 2004 (Proceedings) Brazil,
- Freitas, M.C., Andrade, C. & Cruces, A. (2002) – The geological record of environmental changes in southwestern Portuguese coastal lagoons since the Lateglacial. *Quaternary International*, vol. 93-94 (C), pp 161-170.
- Freitas, M.C. & Andrade, C. (2005) - Global vs Local Forcing Factors and Paleoenvironmental Changes of Estuaries and Lagoons of SW Portugal Since the Late Glacial. In: Freitas, M.C. & Drago, T. (eds), *Proceedings, Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental evolution*, Coastal Hope 2005, Lisbon, pp 64-70
- García-Artola, A., Stephan, P., Cearreta, A., Kopp, R.E., Khan, N.S., Horton, B.P. (2018) - Holocene sea-level database from the Atlantic coast of Europe. *Quaternary Science Reviews* 196, pp 177–192.
- Gilman, E.L., Ellison, J., Duke, N.C., Field, C. (2008) - Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquat. Bot.* 89, pp 237-250.
- Leorri, E., Fatela, F., Drago, T., Bradley, S.L., Moreno, J. & Cearreta, A. (2013) - Lateglacial and Holocene coastal evolution in the Minho estuary (N Portugal): Implications for understanding sea-level changes in Atlantic Iberia Holocene. *The Holocene*, Vol. 23 Issue 3, pp 353-363.
- Villanueva, R.G, Pérez-Arlucea, M., Costas, S., Bao, R., Otero, X.L. & Goble, R. (2015)- 8000 years of environmental evolution of barrier–lagoon systems emplaced in coastal embayments (NW Iberia). *The Holocene*, pp.1-16.

## **IDL 2021 - 18**

Doutoramento em Geologia (Micropaleontologia)

# **Associações de Foraminíferos em depósitos costeiros e marinhos de ondas de porto: uma avaliação integrada da dinâmica sedimentar.**

### **Orientadores**

Francisco Fatela (IDL – FCUL), Pedro Costa (IDL – FCTUC)

### **Objectivos**

Reconhecimento das associações de foraminíferos deslocadas, quer para o interior do domínio costeiro, quer para o largo, nos depósitos sedimentares do litoral algarvio.

Identificação dos depósitos de ondas de porto no registo sedimentar do Holocénico.

Caracterização da dinâmica de inundação e ressaca nos eventos de ondas de porto, ao longo da costa SO ibérica.

## Motivação e resumo:

As ondas de porto representam um dos riscos naturais com consequências mais catastróficas nas zonas costeiras.

O conhecimento dos seus intervalos de recorrência é um dos dados cruciais para a avaliação e gestão do risco costeiro. No entanto o registo instrumental dos grandes eventos de ondas de porto é muito escasso, o que nos impede de obter uma estimativa fiável dos intervalos de recorrência. Esta dificuldade só pode ser ultrapassada com o estudo do registo geológico. É pela análise de longas sequências sedimentares que se pode melhorar significativamente a precisão das estimativas dos períodos de retorno e estabelecer os critérios que permitam caracterizar a dinâmica e a intensidade destes eventos. Nos últimos anos têm sido identificados e descritos vários depósitos sedimentares deixados pelas ondas de porto no interior dos estuários e das lagunas costeiras. Contudo os estudos dos depósitos deixados ao largo, sobre a plataforma continental, pelos mesmos eventos, são muito escassos. Quer num caso, quer noutro, esta tarefa é bastante complexa e exige uma abordagem multidisciplinar que inclua indicadores da sedimentologia, geoquímica e da micropaleontologia, nomeadamente os foraminíferos.

A aplicação do conhecimento acerca da ecologia e da dinâmica das populações de foraminíferos ao estudo e caracterização dos depósitos gerados por uma onda de porto, fornece duas pistas fundamentais através do reconhecimento 1) dos foraminíferos marinhos transportados para o interior da zona costeira, pelo espraio da onda e 2) dos foraminíferos dos sapais do estuário médio, a montante, arrastados para a plataforma continental pela ressaca da onda. Alguns estudos recentes acrescentam ainda outros critérios, como a variação da proporção de indivíduos juvenis e de carapaças fracturadas, ou com marcas de abrasão, entre a base e o topo do depósito, o que permite aumentar a resolução da análise e identificar várias fases de espraio e de ressaca da onda de porto. Esta identificação de várias ondas produzidas pelo mesmo evento ficou bem patente no depósito sedimentar acumulado, ao longo da costa algarvia, pela onda de porto gerada pelo sismo de 1 de Novembro de 1755.

## Metodologia

O estudo basear-se-á na análise de sondagens de sedimentos recolhidos na plataforma continental e de depósitos costeiros do Algarve. A análise das populações de foraminíferos será apoiada por um conjunto multidisciplinar de dados sedimentológicos, geoquímicos e radiométricos.

Este doutoramento contará com o apoio de dois projecto de investigação, que estão em plena execução:

- 1) Coupling onshore and offshore tsunami record: complementary tools for a broader perspective on tsunami events (*OnOff*), FCT - PTDC/CTA-GEO/28941/2017. Instituto Dom Luiz (IDL, ULisboa) – IR Doutor Pedro Costa.
- 2) Distinguishing tsunami and storm deposits affected by postdepositional processes – a multi-proxy approach (TSUNASTORM) financiado pelo Polish National Science Centre.

Está ainda planeado um estágio de curta duração no estrangeiro nomeadamente nas Universidades de Vigo, RWTH - Aachen, Adam Mickiewicz – Poznan, ou da East Carolina.

## Referências bibliográficas

- Costa, P.J.M., Andrade, C. (2020). Tsunami deposits: Present knowledge and future challenges. *Sedimentology*, 67: 1189-1206. <https://doi.org/10.1111/sed.12724>
- Costa, P.J.M., Andrade, C., Freitas, M.C., Oliveira, M.A., Lopes, V., Dawson, A.G.; Moreno, J.; Fatela, F., Jouanneau, J.-M. (2012). A tsunami record in the sedimentary archive of the central Algarve coast, Portugal: characterizing sediment, reconstructing sources and inundation paths. *The Holocene*, 22: 899-914. <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0959683611434227>.

- Costa, P.J.M., Dawson, S., Ramalho, R., Engel, M., Dourado, F., Bosnic, I., Andrade, C. A. (2020). Review on onshore tsunami deposits along the Atlantic coasts. *Earth-Science Reviews*, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103441>.
- Costa, P.J.M., Feist, L., Dawson, A.G., Stewart, I., Reicherter, K., Andrade, C. (2021). Chapter 11 - An overview on offshore tsunami deposits. In: Shiki, T., Tsuji, Y. Yamazaki, T., Nanayama, F. (Editors), *Tsunamiites* (2<sup>nd</sup> Edition), pp. 183-192. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823939-1.00011-2>.
- Fatela, F., Moreno, J., Cabral, M.C. (2016). Salinity and water temperature assessment of the tidal marshes from the W Portuguese coast, as an ecological tool to the palaeoenvironmental reconstructions based on Foraminifera and Ostracoda assemblages. *Estudos do Quaternário*, 14: 73 - 81. <http://www.apeq.pt/ojs/index.php/apeq/article/view/211/241>
- Fatela, F., Moreno, J., Moreno, F., Araújo, M.F., Valente, T., Antunes, C., Taborda, R., Andrade, C., Drago, T. (2009). Environmental constraints of foraminiferal assemblages distribution across a brackish tidal marsh (Caminha, NW Portugal). *Marine Micropaleontology*, 70: 70-88. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2008.11.001>
- Quintela, M., Costa P., **Fatela, F.**, Drago, T., Hoska, N., Andrade, C., Freitas, M.C. (2015). The AD 1755 tsunami deposits onshore and offshore of Algarve (south Portugal): Sediment transport interpretations based on the study of Foraminifera assemblages, *Quaternary International*, 408: 123-138. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.029>

## **IDL 2021 - 19**

Doutoramento em Geologia (Dinâmica sedimentar)

# **Modelação inversa de tsunamis – dos dados geológicos aos parâmetros físicos da onda**

### **Orientação**

Ivana Bosnic (IDL – FCUL), Maria Ana Viana Baptista (IDL – FCUL)

### **Objetivos**

Desenvolver ferramentas para modelação inversa de tsunamis

Quantificar parâmetros físicos da onda de tsunami através da modelação inversa baseada em registos geológicos

Estimar a fonte de tsunamis históricos através da aplicação conjunta de técnicas de modelação inversa e hidrodinâmica (progressiva)

### **Motivação e sumário**

Aprimorar a avaliação da perigosidade de eventos tsunamigénicos tem motivado recentemente um aumento de trabalhos que buscam acoplar abordagens geológicas e de modelação numérica (Sugawara et al, 2015), o que é reforçado pelo fato de que a única evidência concreta de paleotsunamis são as marcas sedimentares deixadas pela (s) onda (s) no registo geológico. Os depósitos arenosos em terra são capazes de fornecer dados para estimar as características do fluxo da onda de tsunami através da modelação inversa, cujo desenvolvimento tem sido uma tarefa desafiadora no ramo das geociências (Costa e Andrade, 2020). Por outro lado, a modelação numérica progressiva é atualmente a ferramenta mais adequada capaz de simular a

hidrodinâmica do tsunami e também o transporte induzido de sedimentos. Comparar as simulações hidrodinâmica de eventos tsunamigênicos com as informações disponíveis obtidas a partir de registos geológicos é uma abordagem típica utilizada para estimar os parâmetros de origem de terremotos tsunamigênicos (Sugawara et al., 2019; por exemplo, Bosnic et al, aceite). Em resumo, a estimativa da fonte e do mecanismo de geração de tsunamis históricos pode fornecer dados cruciais para a avaliação de risco tsunamigênico em áreas propensas a tsunami no mundo. Este trabalho visa, portanto, restringir /estimar a origem de eventos históricos de tsunami através de modelação inversa e progressiva com base em registos geológicos e simulações hidrodinâmicas, respetivamente, a uma escala global.

## Metodologia

Partindo da extensa base de dados geológicos (por exemplo, Costa et al., 2020) de 3 grandes eventos tsunamigênicos - 8200 Cal yrs BP Storegga, CE Lisboa 1755 e 2011 Tohoku-oki - um modelo numérico inverso será desenvolvido permitindo inferências físicas sobre os parâmetros das ondas e áreas de geração. Inicialmente, será feita uma comparação com modelos empíricos desenvolvidos após o tsunami japonês para calibrar a abordagem com o maior conjunto de dados, incluindo dados geológicos e instrumentais. Seguidamente será realizada uma análise transatlântica das marcas (sobretudo sedimentológicas) do tsunami CE 1755 para inferir as suas características hidrodinâmicas. Por fim, através de uma abordagem semelhante, será analisado o tsunami de Storegga que atingiu a costa da Noruega e da Escócia. Os esforços combinados nestes três eventos irão criar uma perspetiva holística sobre as inferências que podem ser alcançadas através da análise detalhada do registo geológico, nomeadamente na reconstrução da intensidade, caminhos de inundação e mecanismos de geração. Os resultados da modelação inversa serão então comparados à modelação hidrodinâmica dos tsunamis em escala global para restringir a fonte dos eventos históricos.

O candidato ideal deverá ter uma sólida formação em programação e competências em geofísica e dinâmica sedimentar. Alguma experiência em modelação numérica será considerada uma vantagem.

Este doutoramento será apoiado por dois projetos de investigação em andamento:

- 1) Coupling onshore and offshore tsunami record: complementary tools for a broader perspective on tsunami events (*OnOff*), FCT - PTDC/CTA-GEO/28941/2017. Instituto Dom Luiz (ULisboa).
- 2) Distinguishing tsunami and storm deposits affected by post-depositional processes – a multi-proxy approach (TSUNASTORM) funded by Polish National Science Centre.

Está também planeado um estágio de curta duração em centros de investigação de referência na área da modelação, nomeadamente em Deltares (Holanda) ou no United States Geological Survey (Santa Cruz, Califórnia).

## Referências

- Bosnic, I., Costa, P., Dourado, F., La Selle, S. and Gelfenbaum, G. Accepted. Onshore flow characteristics of the CE 1755 Lisbon tsunami: linking forward and inverse numerical modelling. *Marine Geology*.
- Costa, P.J.M., Andrade, C. (2020). Tsunami deposits: Present knowledge and future challenges. *Sedimentology*, 67: 1189-1206. <https://doi.org/10.1111/sed.12724>
- Costa, P.J.M., Dawson, S., Ramalho, R., Engel, M., Dourado, F., Bosnic, I., Andrade, C. A. (2020). Review on onshore tsunami deposits along the Atlantic coasts. *Earth-Science Reviews*, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103441>
- Sugawara, D., Jaffe, B., Goto, K., Gelfenbaum, G. and La Selle, S., (2015). Exploring hybrid modeling of tsunami flow and deposit characteristics. In *Proceedings of Coastal Sediments International Conference 2015*, 11-15 May, San Diego, USA.
- Sugawara, D., Yu, N. T., & Yen, J. Y. (2019). Estimating a tsunami source by sediment transport modeling: A primary attempt on a historical/1867 normal-faulting tsunami in northern Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124, 1675–1700. <https://doi.org/10.1029/2018JF004831>



**IDL 2021 - 20**

Doutoramento em Sistemas Sustentáveis de Energia

## **Enfrentando os desafios das mudanças climáticas para edifícios comerciais em África através de soluções ideais de balanço de energia zero**

**Orientação:** Guilherme Carrilho da Graça (IDL)**Resumo**

Após a última parte do século 20, onde o crescimento populacional se concentrou na Ásia, as previsões atuais indicam que mais da metade do crescimento populacional global até 2050 ocorrerá na África. As metas de desenvolvimento sustentável determinam que esse crescimento deve resultar em impacto ambiental mínimo, ou mesmo positivo, ao mesmo tempo em que garante elevados padrões de conforto e saúde para as populações. Infelizmente, a manifestação das tendências da globalização na construção civil resultou na adoção de soluções de design inadequadas para regiões em desenvolvimento, copiando designs que já estavam longe de ser sustentáveis nas suas localizações originais (tipicamente de climas mais frios do Norte). A obsessão por edifícios envidraçados sem sombreamento e sem janelas abertas para ventilação natural (VN) é o aspecto mais visível dessa tendência. Estas soluções têm um mau desempenho, mesmo na Europa central, mas vemos um número crescente de torres de vidro em África.

Ao longo da história a VN permaneceu como a solução preferencial para a maioria dos edifícios residenciais, enquanto, em edifícios comerciais, a VN deixou de ser a única opção para se tornar uma arte perdida, pois os sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado tornaram-se o padrão durante o segundo semestre do século XX. Recentemente, como resultado de preocupações ambientais, em particular as emissões de gases de efeito estufa de edifícios, o interesse pela VN em edifícios comerciais tem ressurgido.

Esta tese foca-se em melhorar os modelos simplificados existentes de sistemas VN mono-fachada. Usando uma combinação de experiências em escala real e métodos avançados de simulação numérica, o aluno desenvolverá novos modelos simplificados que podem ajudar os projetistas de edifícios na implementação de sistemas VN mono-fachada em edifícios comerciais modernos. Durante a tese, o aluno estará envolvido no desenvolvimento de soluções de balanço energia zero para edifícios comerciais na África que incorporam NV, fotovoltaica e resposta de demanda avançada no contexto do projeto ABC21 H2020.

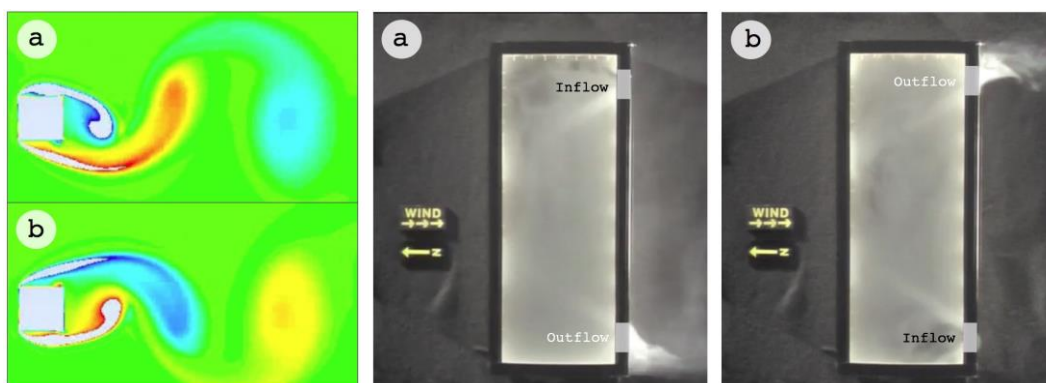


Figura 1. Ventilação unilateral forçada pela instabilidade de cisalhamento de camadas (Karman vortex shedding).

**IDL 2021 - 21**

Doutoramento em Sistemas Sustentáveis de Energia

**Emissões de ozono troposférico e demanda energética da mobilidade (GREEN)****Orientação**

Carla M. Silva (IDL)

**Objectivos**

- i) Análise histórica contínua das variações do ozono ao nível do solo ( $O_3$  troposférico) e correlação com as tendências da mobilidade urbana em Lisboa, Porto e Coimbra (2010-2024), utilizando dados terrestres e de satélite, radiação ao nível do solo e  $NO_x$ ;
- ii) Avaliação de sensores de baixo custo versus alto custo na sua capacidade de monitorização da qualidade do ar terrestre (AQMS) em ambiente não controlado (tráfego e não tráfego). Tem-se como objectivo melhorar a disponibilidade de dados espaciais e temporais da poluição atmosférica. Estes dados serão complementados por dados de satélite para a coluna de  $O_3$  e o uso de machine learning para previsões futuras;
- iii) Aumentar o conhecimento sobre: como é que a redução de fluxos de tráfego (por exemplo Covid-19), a electrificação do parque automóvel (EV), aumento do uso de bicicletas e a maior adesão ao transporte público, afectaram as emissões e a variação de  $O_3$  ao longo dos anos?

**Sumário e Motivação:**

A qualidade do ar nas cidades modernas requer uma grande preocupação devido aos impactos da poluição atmosférica na saúde, ambiente, e economia mundial<sup>1</sup>. Apesar dos recentes progressos na mitigação de poluentes, de acordo com a Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA), novos veículos vendidos no terceiro trimestre de 2020 são compostos por 75,3% ICEV (veículos com motor de combustão interna). A quantidade de subprodutos directa e indirectamente originados pela combustão, tais como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxidos de azoto ( $NO_x$ ), partículas, compostos orgânicos voláteis (COV) e ozono troposférico ( $O_3$ ), precisam de ser continuamente monitorizados e controlados. Na União Europeia (UE28), desde 1990, através das normas de emissão de veículos rodoviários e dos limites de emissões das instalações industriais, as emissões tanto de  $NO_x$  como de COV-NM (COVs-não metânicos) diminuíram 61% e 58%, respectivamente. No entanto, devido à complexidade da dinâmica dos poluentes e apesar das tentativas de mitigação, as tendências do  $O_3$  não estão a seguir as tendências dos seus precursores antropogénicos. O ozono é um poluente secundário gerado pela incidência da radiação solar em emissões primárias de óxidos de azoto ( $NO_2+NO$ )<sup>2</sup>. Recentes eventos como a pandemia Covid-19 corroboram a correlação negativa de  $NO_x-O_3$ , mostrando que apesar de reduções drásticas nas emissões de  $NO_x$ , as concentrações de  $O_3$  não seguiram a tendência de declínio, chegando mesmo a aumentar em certos locais<sup>3,4</sup>. A mortalidade associada a este poluente secundário não pode ser negligenciada<sup>5</sup>. Deste modo, é importante acompanhar historicamente o  $O_3$  e prever as suas tendências. Queremos saber se os avanços tecnológicos, as medidas políticas e as tendências de mobilidade urbana, tais como a adopção de EV em massa, bicicletas e transportes públicos, estão a ter efeito.

Para monitorizar e caracterizar a poluição atmosférica, dependemos das Estações de Monitorização da Qualidade do Ar (AQMS), normalmente pertencentes ao estado, que podem custar até 187.000 EUR mais 28.000 EUR por ano em manutenção. Estas estações oferecem medições extremamente precisas mas sofrem de baixa resolução temporal (medições de 1 hora) e baixa densidade espacial (1 AQMS/100 km<sup>2</sup> na Área Metropolitana de Lisboa). Nos últimos anos, à medida que a tecnologia de sensores de poluição atmosférica melhora e se torna miniaturizada, os sensores de baixo custo (LCS) têm inundado o mercado com

desempenhos aceitáveis a preços baixos (50-500 EUR)<sup>6</sup>. Estes visam resolver as limitações da baixa densidade espacial dos sensores de maior custo, aumentando a resolução temporal, e a disponibilidade de dados para melhor monitorizar, prever e controlar a poluição. Este plano de trabalho propõe a montagem de novos protótipos de monitorização de baixo custo, fáceis de replicar, acessíveis e equitativos para todos em qualquer parte do mundo. Estudos recentes salientam a importância da informação sobre poluição a uma escala micro, que inclui a exposição pessoal e momentânea a poluentes atmosféricos<sup>7</sup>.

Será avaliada a capacidade do protótipo para ser utilizado como uma AQMS eficaz e cumprir os Objectivos de Qualidade dos Dados (DQOs) da Directiva Europeia de Qualidade do Ar. Mesmo com os desafios actuais, há boas indicações de que os DQOs podem ser cumpridos utilizando diferentes metodologias de calibração, tais como regressão linear múltipla e redes neurais. Existe um extenso corpo de trabalho conduzido por Spinellet et al. 2013-2018<sup>8</sup>, que aborda o desempenho de diversos sensores low cost e destaca que apesar dos resultados promissores<sup>9</sup>, há falta de mais testes in-situ (ambiente não controlado). Em paralelo, será efectuada uma análise histórica aprofundada que procura tendências e correlações entre poluentes, factores climáticos, indicadores de mobilidade urbana, directivas governamentais, crises económicas e situações pandémicas. As principais inovações deste projecto são a calibração in-situ utilizando correcções de temperatura e humidade. Também serão testados novos LCS e as suas correlações, fiabilidade, e desvios nas medições ao longo do tempo. O intuito do projecto é aumentar a actual cobertura de rede estática e também fazer uma adaptação para uma variante móvel. Este tipo de caracterização não tem precedentes em Lisboa e irá aumentar o nosso conhecimento sobre como a Capital Verde 2020 tem vindo a progredir com as suas tendências de mobilidade urbana.

## Métodos

Para atingir os objectivos propostos, o candidato terá de processar grandes quantidades de dados, tanto de monitorização terrestre como por satélite, bem como dados do parque automóvel por tecnologia, vendas de combustível, fluxos de tráfego em dias de semana, fins de semana, período escolar e não escolar, dados de utilização de bicicletas, transportes públicos e transporte de mercadorias. Estes dados irão permitir uma análise histórica contínua de 2010-2024, sobre a dinâmica dos poluentes em Lisboa e a forma como os indicadores de mobilidade urbana tiveram impacto nas suas concentrações.

Além disso, o candidato irá melhorar um protótipo já existente, com sensores melhores/diferentes, e replicar o protótipo várias vezes. Posteriormente, serão conduzidas três campanhas de 6 meses, cada uma com as réplicas do protótipo (pelo menos 10). Numa primeira abordagem, será aplicada regressão linear múltipla, redes neurais e outras possíveis metodologias aos dados que vão ser recolhidos numa campanha de calibração de 6 meses com os protótipos versus a AQMS de alto custo de Entrecampos. Nesta primeira campanha, o desempenho do protótipo de baixo custo será comparado com a AQMS de alto custo e será avaliado se os dados se conformam às directivas DQO usando os métodos propostos. Em seguida serão realizadas duas campanhas de 6 meses utilizando estes protótipos. A primeira será novamente estacionária com sensores espalhados perto da AQMS de Entrecampos (possivelmente no Campus da Universidade de Lisboa) e avaliará a qualidade do ar. Por último, uma campanha de 6 meses terá lugar em factor móvel, onde um grupo de voluntários irá transportar o protótipo durante as suas deslocações de bicicleta, metro, e autocarro em percursos de Lisboa a determinar.

Tecnologias de sistemas de informação geográfica (SIG), python e outras ferramentas serão utilizadas para tratar os dados e elaborar mapas, gráficos e outras informações sobre a dinâmica dos poluentes, hotspots, exposição pessoal em mobilidade urbana, etc., na cidade de Lisboa.

## Referências

1. Guerreiro, C., de Leeuw, F., Ortiz, A. G., Viana, M. & Colette, A. *Air quality in Europe — 2018 report*. EEA Report (2018).

2. Silva Júnior, R. S. da, Oliveira, M. G. L. de & Andrade, M. de F. Weekend/weekday differences in concentrations of ozone, nox, and non-methane hydrocarbon in the metropolitan area of São Paulo. *Rev. Bras. Meteorol.* (2009) doi:10.1590/s0102-77862009000100010.
3. Bauwens, M. *et al.* Impact of Coronavirus Outbreak on NO<sub>2</sub> Pollution Assessed Using TROPOMI and OMI Observations. *Geophys. Res. Lett.* **47**, (2020).
4. Hashim, B. M., Al-Naseri, S. K., Al-Maliki, A. & Al-Ansari, N. Impact of COVID-19 lockdown on NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations and assessing air quality changes in Baghdad, Iraq. *Sci. Total Environ.* (2021) doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141978.
5. Jerrett, M. *et al.* Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *N. Engl. J. Med.* (2009) doi:10.1056/nejmoa0803894.
6. Castell, N. *et al.* Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environ. Int.* (2017) doi:10.1016/j.envint.2016.12.007.
7. Yi, W. Y. *et al.* A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems. *Sensors (Switzerland)* (2015) doi:10.3390/s151229859.
8. SPINELLE LAURENT. Join Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/browse?type=author&value=SPINELLE+LAURENT>.
9. Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M. G., Aleixandre, M. & Bonavitacola, F. Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide. in *Sensors and Actuators, B: Chemical* (2015). doi:10.1016/j.snb.2015.03.031.

## **IDL 2021 - 22**

Doutoramento em Sistemas Sustentáveis de Energia

# **Modelos físicos de energia do parque edificado residencial**

### **Orientação**

Marta Panão (IDL)

### **Resumo**

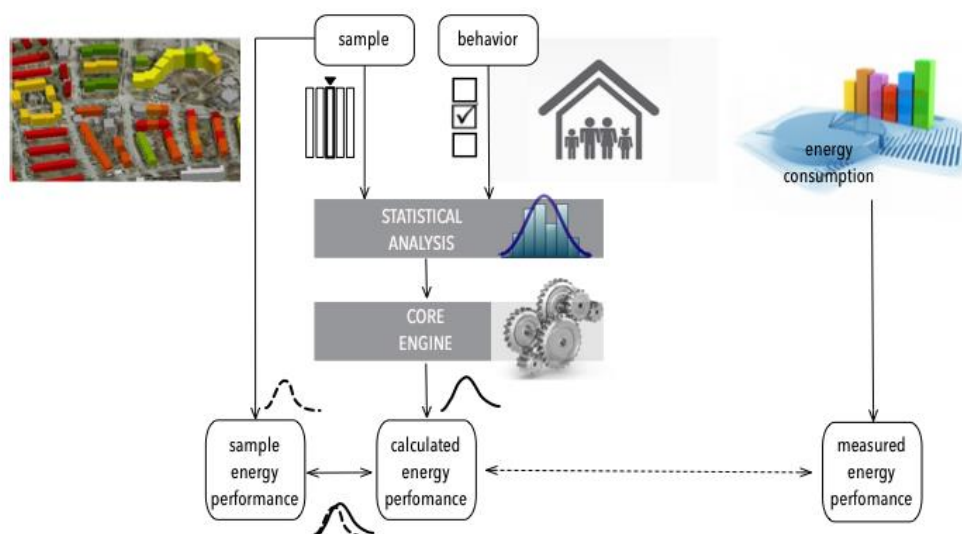
Os modelos de energia do parque edificado são ferramentas preditivas do consumo total de energia de um número elevado de habitações no domínio regional ou nacional. Estes modelos constituem uma ferramenta essencial para dar suporte às políticas energéticas relativas ao uso de energia nos edifícios, nomeadamente estudar as estratégias de renovação dos edifícios, estimar o potencial da produção descentralizada da energia fotovoltaica, prever a longo prazo a influência de cenários de alterações climáticas (*Figueiredo et al., 2020*), quantificar a fração do consumo de energia do setor dos edifícios nos planos nacionais e regionais de Energia e Clima.

As fontes de informação dos modelos *top-down* (do topo para a base) são séries temporais do consumo de energia do setor residencial por vetor energético e outros indicadores de macro escala, como sejam macroeconómicos, climáticos, taxas relativas ao parque edificado, demográficas e tecnológicas. Uma das principais desvantagens destes modelos, quando usados separadamente, é a impossibilidade de desagregar consumos de energia por uso final, bem como acompanhar os avanços tecnológicos. Já os modelos *bottom-up* (da base para o topo) extrapolam para o parque edificado, os valores agregados de uma amostra de habitações onde é conhecido o consumo de energia por uso final ou mesmo por equipamento. Exemplos de modelos

*bottom-up* são modelos estatísticos onde são usados dados históricos para encontrar as funções matemáticas que estimam o consumo de energia. Os modelos físicos são também modelos *bottom-up*, embora sejam baseados na avaliação dos fenómenos de transferência de calor. Nesse sentido, esses não necessitam de dados históricos, mesmo se podem ser úteis nos pressupostos de validação do modelo. Modelos físicos *bottom-up* podem ser categorizados em distribuições, arquétipos e amostras (Swan and Ugursal, 2009) dependendo dos dados de entrada. A principal diferença entre a abordagem por arquétipos e por amostras é que os arquétipos são habitações teóricas que representam as características comuns de um grupo real de habitações. Em contraste, a abordagem por amostragem é constituída por habitações reais que foram estudadas intensivamente. Uma abordagem alternativa é usar a amostra de habitações que consta na base de dados da certificação energética de edifícios (EPC), como dados de entrada do modelo (Fonseca e Oliveira Panão, 2017).

A robustez e o nível de detalhe dos modelos do parque edificado dependem de como os cálculos são feitos. A maior parte dos modelos são abordagens em regime permanente baseadas em graus-dia, o que não se adapta ao aquecimento e arrefecimento intermitente, um comportamento típico dos países do Sul da Europa. A principal barreira para a melhoria dos modelos de energia do parque edificado é a falta de informação dos comportamentos relativos com a energia nas suas habitações. O método Monte Carlo provou conseguir lidar com este tipo de incerteza ao considerar resultados de inquérito do comportamento dos ocupantes (Oliveira Panão e Brito, 2018).

O plano de investigação que se apresenta tem por objetivo implementar e testar um modelo de energia do parque edificado, usando informação desagregada regionalmente das bases de dados EPC, complementadas com levantamentos do consumo de energia à escala do bairro. O modelo deverá também incluir dados de inquérito sobre as habitações, nomeadamente questões de comportamento, uma vez que a incerteza do comportamento dos ocupantes é crítica para o consumo de energia real. O motor de cálculo central é um algoritmo de base física baseado na abordagem resistência-capacitância para prever o consumo de energia para os diferentes usos finais, considerando a transferência de calor transiente e a capacidade térmica dos edifícios. De salientar que a modelação transiente é crucial para tratar o aquecimento e o arrefecimento intermitente e eventos climáticos extremos, como sejam vagas de frio e ondas de calor. O resultado dos modelos são distribuições de probabilidade e não valores únicos, para o consumo total de energia e para o número de horas de desconforto. O plano de trabalho irá tratar o impacto das estratégias de renovação de energia (European Commission, 2020) e a pobreza energética, aspetos importantes que os planos nacionais e regionais de energia e clima devem incluir.



**Figura 1:** Modelos de energia do parque edificado baseados em dados da certificação energética de edifícios e inquéritos.



## Referências

- European Commission, A Renovation wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions, 2020.
- Figueiredo, R., Nunes, P., Oliveira Panão M.J.N. and M.C. Brito, 2020: Country residential building stock electricity demand in future climate – Portuguese case study. *Energy and Buildings*, 209, 109694.
- Fonseca, J.N.B. and M.J.N. Oliveira Panão, 2017: Monte Carlo housing stock model to predict the energy performance indicators. *Energy and Buildings*, 2017, 152, 503–515.
- Oliveira Panão, M.J.N. and M.C. Brito, 2018: Modelling aggregate hourly electricity consumption based on bottom-up building stock. *Energy and Buildings*, 170, 170–182.
- Swan, L. G., and V. I. Ugursal, 2009: Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1819–1835.

## IDL 2021 - 23

Doutoramento em Sistemas Sustentáveis de Energia

# Optimização de sistemas de armazenamento de energia e mobilidade elétrica considerando uso de matérias primas

## Orientação

Miguel Centeno Brito e António Mateus (FCUL, IDL)

## Objetivos

- Caracterizar soluções alternativas para as futuras necessidades de armazenamento de energia e mobilidade elétrica, e o respetivo impacto em programas de transição energética (nomeadamente em Portugal e na UE).
- Avaliar os requisitos de matéria-prima para diferentes tecnologias de armazenamento de energia e sistemas de mobilidade elétrica considerando diferentes cenários futuros.
- Compreender as restrições impostas pela disponibilidade (a custos acessíveis) desses requisitos de materiais e avaliar a viabilidade de soluções alternativas, ou seja, identificar quais as combinações tecnológicas para armazenamento de energia e mobilidade elétrica menos vulneráveis a prováveis escassez / interrupções de fornecimento de matérias-primas.
- Para as soluções alternativas, que mix de matérias-primas deve ser esperado, quanto à sua diversidade, origem (recursos primários e secundários) e taxas de emissões de GEE associados à sua extração / processamento e reciclagem / fabrico? Podemos antecipar alguma autonomia estratégica para a UE no fornecimento destes materiais?

## Motivação e resumo

A convergência para os Objetivos do Acordo de Paris e o Acordo Verde Europeu implica cortes rigorosos nas emissões de GEE juntamente com uma aceleração dos vários processos incluídos na chamada “transição energética”. Nesta transição, do lado da oferta, a eliminação progressiva dos combustíveis fósseis deve ser gradualmente substituída pela eletricidade gerada de forma sustentável, enquanto, do lado da procura, é necessário aumentar a taxa de eletrificação da procura de energia em todos os setores, incluindo a



mobilidade, aquecimento e refrigeração e alguns processos industriais. O terceiro pilar da transição energética é a digitalização da energia, com redes mais inteligentes e novas estratégias de gestão otimizada de energia.

Alguns desses processos já estão numa fase de crescimento sem precedentes, tais como: (i) adoção em larga escala de sistemas fotovoltaicos; (ii) rápido desenvolvimento de tecnologia eólica e parques eólicos de grande escala; (iii) eletrificação do transporte; (iv) renovação da rede elétrica para facilitar sistemas de energia descentralizados, transformando redes de distribuição em redes inteligentes permitindo corresponder à evolução da procura/ fornecimento local e expansão / interconexão de redes de transmissão para ligar parques eólicos em grande escala e parques solares em localizações favoráveis aos centros de procura); e (v) desenvolvimento de múltiplas formas para armazenamento otimizado de energia, de infraestruturas residenciais a em grande escala (por exemplo, sistemas de bombagem hidroelétricos, sistemas de armazenamento de ar comprimido, conversão e armazenamento de hidrogénio ou amónia).

Atualmente, as fontes renováveis de energia já competem com os sistemas baseados em combustíveis fósseis, mas sua variabilidade leva a uma necessidade significativa de armazenamento de energia, que pode ser em parte alcançada por meio de uma gestão otimizada de carregamento de veículos elétricos.

Qualquer que seja o cenário futuro, teremos de garantir o fornecimento de uma grande quantidade de matérias-primas porque todas as tecnologias de baixo carbono e as mudanças de infraestrutura pretendidas para os sistemas de energia são caracterizadas por uma alta intensidade de metais [1], alguns de difícil reciclagem (segundo o conhecimento atual) e também dificilmente obtidos com a exploração de recursos primários (geralmente subprodutos da exploração de outras matérias-primas).

A presente proposta está focada em soluções alternativas para as necessidades futuras de armazenamento de energia e mobilidade elétrica. Os requisitos de matéria-prima variam significativamente entre tecnologias, cenários e ao longo do tempo. Portanto, ao estudar diferentes cenários futuros será possível identificar quais as combinações tecnológicas para armazenamento de energia e mobilidade elétrica que apresentam menor vulnerabilidade para escassez / interrupção do fornecimento de matérias-primas. Nesta abordagem, será considerada a contribuição de diferentes fontes (primárias, via mineração, ou secundárias, por meio de reciclagem ou refabrico), ligando assim os dilemas colocados pela economia circular com o paradigma de transição energética.

Além disso, as taxas de emissões de GEE associados à extração / processamento de matérias-primas e reciclagem / refabrico serão avaliadas para melhor apoiar a seleção de tecnologias de armazenamento de energia e sistemas de mobilidade elétrica.

## **Metodologia**

Cenários futuros para armazenamento de energia e mobilidade elétrica serão modelados usando o EnergyPlan, uma ferramenta de modelação horária com escala regional ou nacional [2]. Os cenários de referência são baseados em planos nacionais de descarbonização, enquanto os cenários de mix de energia alternativos explorarão a incorporação adicional de hidrogénio, tanto como flexibilidade de procura como para a mobilidade elétrica, armazenamento de energia por ar comprimido, bem como possíveis caminhos para desenvolvimento tecnológico.

Os requisitos de matéria-prima serão modelados usando os fluxos em termos de custos de reposição de energia. O custo de reposição de energia é um conceito derivado da segunda lei da termodinâmica e avalia o custo de energia necessário para devolver com as tecnologias disponíveis um determinado mineral às suas condições iniciais de composição e concentração.

## Referências

- [1] Hund K, La Porta D, Fabregas TP, Laing T, Dexhage J (2020) Minerals for Climate Action: the mineral intensity of the clean energy transition. Climate-Smart Mining Facility. World Bank Publications. The World Bank Group.
- [2] R. Figueiredo (2020) Renewable and resilient power systems under future climate variability, PhD thesis, ULisboa
- [3] W. Stanek (ed.), Thermodynamics for Sustainable Management of Natural Resources, Green Energy and Technology. Springer International Publishing AG 2017.