

**Samuel Alexandre Miguel Arruda**

**Processos sedimentares em ilhas vulcânicas oceânicas:  
aferição do transporte de moluscos marinhos efetuado  
pelas correntes marinhas na plataforma da ilha de  
Santa Maria, Açores**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2024

**Samuel Alexandre Miguel Arruda**

**Processos sedimentares em ilhas vulcânicas oceânicas:  
aferição do transporte de moluscos marinhos efetuado  
pelas correntes marinhas na plataforma da ilha de  
Santa Maria, Açores**

**Mestrado em Biologia Marinha**

**Supervisores:**

Doutor Sérgio Ávila

Doutora Rita Castilho

**Co-supervisor**

Doutor Rui Quartau



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2024

## **Declaração de autoria de trabalho**

**Processos sedimentares em ilhas vulcânicas oceânicas: aferição do transporte de moluscos marinhos efetuado pelas correntes marinhas na plataforma da ilha de Santa Maria, Açores**

*Declaro ser o(a) autor(a) deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.*

Copyright em nome de Samuel Alexandre Miguel Arruda.

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## **Resumo**

A ilha de Santa Maria no arquipélago dos Açores tem sido palco de diversos trabalhos científicos de diversas áreas nas últimas décadas. O arquipélago no seu todo é constituído por nove ilhas vulcânicas oceânicas, onde Santa Maria se destaca como a mais antiga. Procurando dar seguimento a trabalhos de foro científico realizados no arquipélago até à data, pretendemos desenvolver e desvendar os processos sedimentares que ocorrem nas plataformas insulares de ilhas vulcânicas oceânicas, por via do transporte de moluscos marinhos do litoral até profundidades maiores ao longo da extensão da plataforma. Para este efeito foram triadas amostra de sedimento marinho (5,2 kg) originárias da plataforma insular (-10 a -289 m) de Santa Maria, de forma a identificar espécies e a sua distribuição ao longo de cinco transectos (Norte, Sul, Sudoeste (estes dois foram agrupados), Oeste e Leste), onde foi também descrita a batimetria destes, de modo a identificar o seu bordo insular e variação de declive entre estes. Um total de 30.648 indivíduos foram contabilizados e identificados, pertencentes a 45 espécies (8 bivalves e 37 gastrópodes). Destas espécies, as que apresentaram maior abundância no litoral marinho foram analisadas de forma a avaliar a existência de transporte ao longo da plataforma e além do bordo insular. Espécies como *Alvania angioyi*, *Alvania mediolittoralis*, *Bittium nanum*, *Gibbula delgadensis*, *Manzonina unifasciata*, *Rissoa guernei* demonstram uma abundância elevada de indivíduos mortos muito para além da zonação conhecida para estes animais, bem como do limite litoral estipulado para cada uma destas espécies, o que nos permite confirmar a ocorrência de transporte sedimentar ao longo da plataforma insular.

**Palavras-chave:** Zonação batimétrica, Moluscos marinhos, ilhas vulcânicas oceânicas, Plataforma insular

## **Abstract**

The island of Santa Maria in the Azores archipelago has been the site of several scientific studies in diverse fields over the last decades. The archipelago as a whole is made up of nine volcanic and oceanic islands, where Santa Maria stands out as the oldest. In our contribution to the scientific work carried out to date in this archipelago, we intend to develop and unravel the sedimentary processes that occur on the insular platforms of volcanic oceanic islands, through the transport of marine molluscs from the littoral area to deep sea along the shelf. To this end, marine sediment samples (5.2 kg) from the island platform (-10 to -289 m in depth) of Santa Maria were sorted in order to identify species and their distribution along five transects (North, South, Southwest, West and East), where the bathymetry of these transects was also described in order to identify the island edge and slope variation between quadrants. A total of 30,648 individuals were counted and identified for 45 different species (8 bivalves and 37 gastropods). Of these species, those with the greatest abundance and bathymetric distributions reported for the littoral area were analysed in order to understand the existence of transport along the platform and beyond the insular edge. Species such as *Alvania angioyi*, *Alvania mediolittoralis*, *Bittium nanum*, *Gibbula delgadensis*, *Manzonia unifasciata*, *Rissoa guernei* show a high abundance of dead individuals far beyond the known zonation for these animals, as well as the littoral limit stipulated for these species. This allows us to confirm the occurrence of sedimentary transport along the insular platform shores.

**Keywords:** Bathymetric zonation, Marine molluscs, Volcanic oceanic islands, Insular shelf

## Índice

• <b>Resumo</b>	III
• <b>Abstract</b>	IV
<b>I. Lista de Abreviações</b>	VI
<b>II. Lista de Tabelas e Figuras</b>	VII
<b>III. Introdução Geral</b>	VIII a XI
<b>IV. Referencias da Introdução Geral</b>	XII a XIV
• <b>Manuscrito</b>	1
1. <b>Resumo/Abstract</b>	2 e 3
2. <b>Introdução</b>	
2.1. <b>Moluscos Marinhos, o seu habitat e a sua ecologia</b>	4
2.2. <b>Zonação batimétrica dos moluscos marinhos nos Açores (Estado-da-arte)</b>	5
2.3. <b>Ilha de Santa Maria, contexto geográfico e geológico</b>	5
3. <b>Materiais e Métodos</b>	
3.1. <b>Amostragem e Coleção</b>	6 a 8
3.2. <b>Amostras</b>	9 a 10
3.3. <b>Triagem, Identificação e Contagem</b>	11
4. <b>Resultados</b>	
4.1. <b>Biodiversidade e abundância</b>	12 a 15
4.2. <b>Características funcionais</b>	16 a 20
4.3. <b>Descrição dos Perfis Batimétricos</b>	21 e 22
4.4. <b>Distribuição batimétrica das Espécies Litorais     mais abundantes nos transectos realizados</b>	22 a 28
4.5. <b>Resultados Estatísticos</b>	29 e 30
5. <b>Discussão</b>	31 e 32
6. <b>Agradecimentos</b>	33
7. <b>Referencias</b>	34 a 37

## **I. Lista de abreviações**

DBUA - Departamento de Biologia da Universidade dos Açores

MPB - Marine Palaeontology and Biogeography lab

Ma - *Megaannum* (1 milhão de anos)

Cf. - Conferir/Confirmar

## II. Lista de Tabelas e Figuras

### Tabelas:

**Tabela 3.1.** Códigos, localização geográfica, profundidade de recolha e massa das amostras recolhidas

**Tabela 4.1.** Profundidade e localização das 34 amostras recolhidas

**Tabela 4.2.** Características funcionais das espécies de moluscos triadas nas amostras recolhidas

**Tabela 5.1.** Características funcionais das espécies de moluscos triadas nas amostras recolhidas

### Figuras:

**Figura 3.1.** Localização das 118 amostras de sedimentos recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria, no decurso do projeto “PLATMAR

**Figura 3.2.** Localização dos quatro transectos e das 34 amostras triadas de sedimentos marinhos recolhidos

**Figura 4.1.** Perfis batimétricos referentes aos transectos indicados na Figura 3.2

**Figura 4.2.** Perfis batimétricos e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos no transecto “Norte”

**Figura 4.3.** Perfis batimétricos e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos transectos “Sul + Sudoeste”

**Figura 4.4.** Perfis batimétricos e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos no transecto “Leste”

**Figura 4.5.** Perfis batimétricos e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos no transecto “Oeste”

**Figura 4.6.** Gráfico representativo da análise multivariada por escalonamento multidimensional não métrico (NMDS – “Non-Metric multiDimensional Scaling”)

### **III. Introdução Geral**

#### **1 - Os Açores e a sua relevância para a Biologia Marinha e a Malacologia**

O arquipélago dos Açores com as suas nove ilhas de origem vulcânica e localização remota no Atlântico Norte, gera interesse e curiosidade entre a comunidade científica, pois este arquipélago oferece uma rara oportunidade para observar e estudar a vida marinha e a sua interação com ilhas oceânicas.

Desde o nascimento da Universidade dos Açores, em 1976, é notável o aumento das publicações científicas na área das Ciências naturais e, em particular da investigação em Biologia Marinha realizada nos mares dos Açores (Ávila, 2009). Recuando algum tempo, é no século XVI com Gaspar Frutuoso e o seu trabalho “Saudades da Terra”, que nos chegam os primeiros registos referentes ao estudo da Natureza nos Açores. Posteriormente nos séculos XIX e XX, ocorrem várias expedições oceanográficas em águas açorianas, algumas protagonizadas por Alberto I, Príncipe do Mónaco. Ainda neste período são publicados os primeiros trabalhos modernos, no que diz ao estudo das ciências naturais, tendo estes sido compilados por Martins (1990), Santos *et al.* (1995), e Morton *et al.* (1998), criando assim os alicerces para o desenvolvimento de novos trabalhos relacionados com o mar, que vem até aos dias de hoje.

Um dos diversos ramos da biologia, a Malacologia, é o que se dedica ao estudo do filo Mollusca. Este é o segundo maior filo animal e o maior quando considerando apenas os organismos marinhos. Os moluscos apresentam uma enorme diversidade a nível molecular e morfológico e, nas espécies que possuem concha, um registo fóssil extenso e de enorme valor científico (Ponder & Lindberg, 2020).

#### **2 - Os moluscos marinhos dos Açores e a sua investigação**

Em Ávila (2000a), são identificados os primeiros trabalhos malacológicos nos Açores, sendo citados Mac Andrew (1856), Drouët (1858), Dautzenberg & Fisher (1897) e Nobre (1924, 1930), e sendo feita uma descrição destes como trabalhos de referência, onde são publicadas as primeiras listas de espécies conhecidas à data. No mesmo trabalho, Ávila (2000a) identifica o que pode ser considerado o primeiro trabalho extenso dos moluscos marinhos realizado nos Açores, protagonizado por Dautzenberg (1889), onde são descritas pela primeira vez um vasto conjunto de espécies, na sua maioria, de profundidade. Ávila (2000a) reconhece ainda a

importância da Universidade dos Açores e do seu Departamento de Biologia (DBUA), na expansão do conhecimento malacológico, bem como da biologia marinha em geral nos Açores, com as primeiras grandes iniciativas a ocorrerem entre 1980 e princípios de 1990.

O foco deste trabalho será a verificação do transporte efetuado pelas correntes marinhas na plataforma insular da ilha de Santa Maria, no Arquipélago dos Açores. Para tal, focaremos a nossa atenção nas duas maiores classes dos moluscos, nomeadamente as classes Gastropoda e Bivalvia e nas espécies consideradas como micro moluscos, sendo estes os que apresentam indivíduos adultos com dimensões menores que os 10 mm (Bouchet *et al.*, 2002; 2011; Caballero-Herrera *et al.*, 2023).

Como previamente mencionado, os Açores por via da sua geografia e história geológica oferecem uma oportunidade um tanto rara para a ciência, pois neste arquipélago para além das espécies marinhas vivas, podemos também encontrar um registo fóssil vasto de várias taxa, inclusive moluscos marinhos na ilha de Santa Maria, com os depósitos mais antigos datados para o Plioceno (Ávila *et al.*, 2018).

Há que mencionar a importância do trabalho desempenhado pela equipa do “Marine Palaeontology and Biogeography lab” (MPB) da Universidade dos Açores no estudo dos moluscos marinhos nos Açores, quer no registo contemporâneo como no registo fóssil, bem como noutros taxa, sendo uma grande parte da bibliografia utilizada neste trabalho fruto direto do conhecimento obtido pelos membros do MPB/CIBIO-Açores/BIOPOLIS.

O registo fóssil dos Açores é esparso no tempo e fundamentalmente restrito à ilha de Santa Maria, sendo possível encontrar registo abundante de espécies marinhas para as épocas do Plioceno e Pleistoceno. Em Ávila *et al.* (2018) é feita uma visão geral de todo o trabalho paleontológico efetuado em Santa Maria com a listagem das espécies identificadas, bem como as jazidas onde foram encontrados, tendo sido dados 51 bivalves e 48 gastrópodes para o Plioceno nos Açores. Mais recentemente em Sacchetti *et al.* (2023) foi realizada uma revisão dos gastrópodes pliocénicos em Santa Maria, onde o número de espécies identificadas aumentou para 77. Para o Pleistoceno, nos trabalhos de Ávila *et al.* (2015, 2018) são identificadas 136 gastrópodes e 24 bivalves.

Passando ao registo contemporâneo, em Cordeiro *et al.* (2015) foi compilada de forma extensiva uma lista de espécies referente aos gastrópodes litorais dos Açores, onde o autor faz uma listagem de todas as publicações prévias ao seu trabalho e realça a importância dos

seguintes trabalhos, (Ávila, 1998, 2000a, 2000b, 2005; Ávila & Azevedo, 1996; Ávila *et al.*, 1998, 2000, 2004; Cervera *et al.*, 2004; Cordeiro & Ávila, 2015; Malaquias *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2009). Posteriormente, os trabalhos de Cacabelos *et al.*, (2018) e Delongueville *et al.*, (2019) expandiram e atualizaram os dados publicados por Cordeiro *et al.*, (2015) e incluíram no caso de Delongueville *et al.*, (2019), dados referentes aos bivalves litorais, sendo dadas para os Açores 284 espécies de gastrópodes litorais e 93 de bivalves litorais. Consideramos como gastrópodes litorais aquelas espécies que habitam tipicamente entre a zona entre-marés e os 50 m de profundidade, e como bivalves litorais aquelas espécies que habitam tipicamente entre a zona entre-marés e os 100 m de profundidade.

Para os moluscos marinhos de maiores profundidades, um trabalho recente efetuado por Caballero-Herrera *et al.* (2023) abordou a capacidade dispersiva dos moluscos marinhos em montes submarinos e em mar profundo (-300 a -1600 m), onde são identificadas 409 espécies de moluscos marinhos nos Açores.

### **3 - Micro moluscos marinhos, diferenças entre litoral e mar profundo**

Como anteriormente mencionado, os micro moluscos marinhos são caracterizados pelo tamanho da sua concha. Devido às suas reduzidas dimensões, é normal que quem não esteja atento a estas criaturas, as confunda com grãos de areia, gravilha fina ou mesmo cacos de conchas e carapaças de outros organismos marinhos de maiores dimensões e à vista desarmada as características diagnosticantes da concha, i.e., a sua forma, ornamentação, número de voltas, entre outras, destes organismos sejam quase impossíveis de ser perceptíveis, o que aumenta significativamente a dificuldade em trabalhar com estes animais.

Em relação à sua distribuição batimétrica, estes animais são geralmente descritos como sendo litorais ou de mar profundo. A sua zona litoral está estipulada entre o intertidal até aos 50 m para gastrópodes e estende-se até aos 100 m para os bivalves.

### **4 – Objetivo**

Após uma exaustiva pesquisa bibliográfica, foi verificado que não existem, para o arquipélago dos Açores, trabalhos que utilizem o conhecimento da zonation batimétrica dos moluscos marinhos atuais para aferir o transporte efetuado pelas correntes marinhas dos sedimentos e do material biogénico associado (conchas, testas de ouriços, carapaças de

caranguejos, ossos de peixes, etc.) ao longo da plataforma insular, ou que abordem este tema de uma forma aprofundada.

Neste trabalho pretende-se utilizar a zonação batimétrica conhecida dos moluscos marinhos nos Açores, a qual será conjugada com amostras de sedimento recolhidas ao longo de uma plataforma insular, com a ilha de Santa Maria a ser o local do estudo. O estudo quantitativo dos moluscos marinhos existentes nas amostras atrás referidas, as quais irão englobar desde a zona litoral até à extensão de mar profundo imediatamente a seguir ao bordo da plataforma insular, permitirá avaliar potenciais diferenças da fauna identificada e a sua abundância, em vários pontos do perímetro costeiro da ilha, e aferir a possibilidade de transporte de sedimentos por correntes marinhas, do litoral até ao bordo da plataforma insular e mais além, na direção da vertente insular.

#### IV. Referências Introdução Geral

Ávila, S.P., 1998. Zonação intertidal de uma comunidade malacológica numa lagoa costeira localizada na costa Sul da ilha do Pico, Açores. *Açoreana*, 8(4), 436–486.

Ávila, S.P., 2000a. Sistemática e Ecologia dos Moluscos (Gastropoda, Bivalvia e Polyplacophora) Litorais em São Vicente, Capelas (São Miguel, Açores), MSc. thesis, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14725.09440>

Ávila, S.P., 2000b. Shallow-water marine molluscs of the Azores: biogeographical relationships. *Arquipélago. Life and Marine Sciences. Supplement 2 (Part A)*: 99–131.

Ávila, S.P., 2005. Processos e padrões de dispersão e colonização nos rissoidae (Mollusca: Gastropoda) dos Açores, Ph.D. thesis, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal.

Ávila, S.P., 2009. Os fósseis de Santa Maria. *Portugala*. 14. 29-33.

Ávila, S.P., & Azevedo, J.M.N., 1996. Checklist of the marine molluscs of the littoral of Pico Island (Azores, Portugal). In *Libro de Resúmenes XI Congreso Nacional de Malacología*. (pp. 106–107).

Ávila, S.P., Azevedo, J.M.N., Gonçalves, J.M., Fontes, J. & Cardigos, F., 1998. Checklist of the shallow-water marine molluscs of the Azores: 1 - Pico, Faial, Flores and Corvo. *Açoreana*, 8: 487–523.

Ávila S.P., Azevedo J.M.N., Gonçalves J.M., Fontes J. & Cardigos F., 2000. Checklist of the shallow-water marine molluscs of the Azores: 2 - São Miguel island. *Açoreana*, 9: 139–173.

Ávila, S.P., Cardigos, F. & Santos, R.S., 2004. D. João de Castro Bank, a shallow water hydrothermal-vent in the Azores: checklist of the marine molluscs. *Arquipélago - Life and Marine Sciences*, 21A: 75–80.

Ávila, S.P., Melo, C., Silva, L., Ramalho, R., Quartau, R., Hipólito, A., Cordeiro, R., Rebelo, A.C., Madeira, P., Rovere, A., Hearty, P.J., Henriques, D., Silva, C.M., Martins, A.M.F., Zazo, C., 2015. A review of the MIS 5e highstand deposits from Santa Maria Island (Azores, NE Atlantic): Palaeobiodiversity, palaeoecology and palaeobiogeography. *Quaternary Science Reviews*. 114. 126–148. 10.1016/j.quascirev.2015.02.012.

Ávila, S.P., Ramalho, R., Habermann, J. & Titschack, J., 2018. The Marine Fossil Record at Santa Maria Island (Azores). In: Kueppers, U. & C. Beier (Eds), *Volcanoes of the Azores. Revealing the Geological Secrets of the Central Northern Atlantic Islands. Active Volcanoes of the World*. Springer, Berlin, Heidelberg: 155–196. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32226-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32226-6_9).

Bouchet, P., Lozouet, P., Maestrati, P. & Héros, V., 2002. Assessing the magnitude of species richness in tropical marine environments: exceptionally high numbers of molluscs at a New

Caledonia site. *Biol J Linn Soc* 75(4):421–436. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2002.00052.x>

Bouchet, P., Héros, V., Lozouet, P., Maestrati, P. & Von Cosel, R., 2011. The marine Molluscs of Santo. In *The Natural History of Santo* (P. Bouchet, H. Le Guyader & O. Pascal, eds). Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, p. 421–431.

Caballero-Herrera, J.A.C., Hoffman, L., Freiwald, A. & Gofas, S., 2023. The dispersal capacity of Mollusca—a test on the South Azorean Seamount Chain. *Mar. Biodivers.* 53, 59. <https://doi.org/10.1007/s12526-023-01366-9>

Cacabelos, E., Cordeiro, R., Sánchez, R., Busquier, L., Mosquera, R., Neto, A.I. & Ávila, S.P., 2018. Short note - First record of *Eatonina fulgida* (Mollusca: Gastropoda) in the Azores Archipelago (NE Atlantic Ocean). *Cahiers de Biologie Marine*, 59: 623–627.

Cervera, J.L., Calado, G., Gavaia, C., Malaquias, M.A.E., Templado, J., Ballesteros, M., García-Gómez, J.C. & Megina, C., 2004. An annotated and updated checklist of the opisthobranchs (Mollusca: Gastropoda) from Spain and Portugal (including islands and archipelagos). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 20: 5–111.

Cordeiro, R. & Ávila, S.P., 2015. New species of Rissoidae (Mollusca, Gastropoda) from the Archipelago of the Azores (northeast Atlantic) with an updated regional checklist for the family. *ZooKeys*, 480: 1–19.

Cordeiro, R., Borges, J.P., Martins, A.M.F. & Ávila, S.P., 2015. Checklist of the littoral gastropods (Mollusca Gastropoda) from the Archipelago of the Azores (NE Atlantic). *Biodiversity Journal*, 6(4): 855–900.

Dautzenberg, P., 1889. Contribution à la faune malacologique des Iles Açores. Résultats des dragages effectués par le yacht l'Hirondelle pendant sa campagne scientifique de 1887. Révision des mollusques marins des Açores. Résultats des Campagnes Scientifiques du Prince de Monaco, 1:112 pp., 4 pls.

Dautzenberg, P. & P. H. Fischer, 1896. Campagnes scientifiques de S.A. le Prince Albert Ier de Monaco. Dragages effectués par l'Hirondelle et par la Princesse Alice, 1888-1895. *Mémoires de la Société Zoologique de France*, 9: 395-498, pls. 15–22.

Delongueville, C., Scaillet, R. & Swinnen, F., 2019. New records of marine littoral Gastropoda and Bivalvia in the Azores Archipelago (Northeast Atlantic Ocean). *Novapex* 20:35–43

Drouët, H., 1858. Mollusques Marins des Iles Açores. *Mémoires de la Société Académique de l'Aube*, 22: 53 pp., 2 pls. Paris.

Mac Andrew, R., 1856. Report on the marine testaceous Mollusca of the North-East Atlantic and neighbouring Seas and the physical conditions affecting their development. Report of the British Association for the Advance of Science, 158 pp. London.

Malaquias, M. A. E., Calado, G. P., Padula, V., Villani, G. & Cervera, J. L., 2009. Molluscan diversity in the North Atlantic Ocean: new records of opisthobranch gastropods from the Archipelago of the Azores. *Marine Biodiversity Records*. Cambridge University Press, 2, p. e38. doi: 10.1017/S175526720800016X.

Martins, H. R., 1990. A selected bibliography of the marine fauna and flora of the Azores. *Arquipélago, Life and Earth Sciences*, 8, 35–44.

Martins, A.M.F., Borges, J.P., Ávila, S.P., Costa, A.C., Madeira, P. & Morton B., 2009. Illustrated checklist of the infralittoral molluscs off Vila Franca do Campo. *Açoreana*, Suplemento 6: 15–103.

Morton, B., Britton, J. C., & Martins, A. M. F., 1998. *Ecologia Costeira dos Açores*, x + 249 pp. Sociedade Afonso Chaves, Ponta Delgada.

Nobre, A. 1924. Contribuições para a fauna dos Açores. *An. Inst. Zool. Univ. Porto*, 1: 41-90.

Nobre, A., 1930. *Materiais para o estudo da fauna dos Açores*, 108pp. Instituto de Zoologia da Universidade do Porto, Porto.

Ponder, W. F. & Lindberg, D. R., 2020. *Biology and Evolution of the Mollusca*, Edition (Volume 1), p. 900. CRC Press, Boca Raton

Santos, R.S., Hawkins, S., Monteiro, L.R., Alves, M. & Isidro, E.J., 1995. Marine research, resources and conservation in the Azores. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 5: 311–354. <https://doi.org/10.1002/aqc.3270050406>

Sacchetti, C., Landau, B., & Ávila, S.P., 2023. The Lower Pliocene marine gastropods of Santa Maria Island, Azores: Taxonomy and palaeobiogeographic implications. 10.11646/zootaxa.5295.1.1.

**Processos sedimentares em ilhas vulcânicas oceânicas: aferição do transporte de moluscos marinhos efetuado pelas correntes marinhas na plataforma da ilha de Santa Maria, Açores**

Arruda, S.<sup>1,2,3,5</sup>, Quartau, R.<sup>6,7</sup>, Castilho, R.<sup>4,5</sup> & Ávila, S.P.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Marine Palaeontology and Biogeography Laboratory, Universidade dos Açores

<sup>2</sup>CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBIO Laboratório Associado, Pólo dos Açores – Departamento de Biologia da Universidade dos Açores

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Açores, Portugal

<sup>4</sup>CCMAR, Centre of Marine Sciences, Universidade do Algarve, Faro, Portugal

<sup>5</sup>Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, Portugal

<sup>6</sup>Instituto Hidrográfico-Marinha

<sup>7</sup>Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz

Correspondência: [samuelarruda.97@gmail.com](mailto:samuelarruda.97@gmail.com)

## 1. Resumo

A ilha de Santa Maria no arquipélago dos Açores tem sido palco de diversos trabalhos científicos de diversas áreas nas últimas décadas. O arquipélago no seu todo é constituído por nove ilhas vulcânicas oceânicas, onde Santa Maria se destaca como a mais antiga. Procurando dar seguimento a trabalhos de foro científico realizados no arquipélago até à data, pretendemos desenvolver e desvendar os processos sedimentares que ocorrem nas plataformas insulares de ilhas vulcânicas oceânicas, por via do transporte de moluscos marinhos do litoral até profundidades maiores ao longo da extensão da plataforma. Para este efeito foram triadas amostra de sedimento marinho (5,2 kg) originárias da plataforma insular (-10 a -289 m) de Santa Maria, de forma a identificar espécies e a sua distribuição ao longo de cinco transectos (Norte, Sul, Sudoeste (estes dois foram agrupados), Oeste e Leste), onde foi também descrita a batimetria destes, de modo a identificar o seu bordo insular e variação de declive entre estes. Um total de 30.648 indivíduos foram contabilizados e identificados, pertencentes a 45 espécies (8 bivalves e 37 gastrópodes). Destas espécies, as que apresentaram maior abundância no litoral marinho foram analisadas de forma a avaliar a existência de transporte ao longo da plataforma e além do bordo insular. Espécies como *Alvania angioyi*, *Alvania mediolittoralis*, *Bittium nanum*, *Gibbula delgadensis*, *Manzonia unifasciata*, *Rissoa guernei* demonstram uma abundância elevada de indivíduos mortos muito para além da zonação conhecida para estes animais, bem como do limite litoral estipulado para cada uma destas espécies, o que nos permite confirmar a ocorrência de transporte sedimentar ao longo da plataforma insular.

**Palavras-chave:** Zonação batimétrica, Moluscos marinhos, ilhas vulcânicas oceânicas, Plataforma insular

## **Abstract**

The island of Santa Maria in the Azores archipelago has been the site of several scientific studies in diverse fields over the last decades. The archipelago as a whole is made up of nine volcanic and oceanic islands, where Santa Maria stands out as the oldest. In our contribution to the scientific work carried out to date in this archipelago, we intend to develop and unravel the sedimentary processes that occur on the insular platforms of volcanic oceanic islands, through the transport of marine molluscs from the littoral area to deep sea along the shelf. To this end, marine sediment samples (5.2 kg) from the island platform (-10 to -289 m in depth) of Santa Maria were sorted in order to identify species and their distribution along five transects (North, South, Southwest, West and East), where the bathymetry of these transects was also described in order to identify the island edge and slope variation between quadrants. A total of 30,648 individuals were counted and identified for 45 different species (8 bivalves and 37 gastropods). Of these species, those with the greatest abundance and bathymetric distributions reported for the littoral area were analysed in order to understand the existence of transport along the platform and beyond the insular edge. Species such as *Alvania angioyi*, *Alvania mediolittoralis*, *Bittium nanum*, *Gibbula delgadensis*, *Manzonia unifasciata*, *Rissoa guernei* show a high abundance of dead individuals far beyond the known zonation for these animals, as well as the littoral limit stipulated for these species. This allows us to confirm the occurrence of sedimentary transport along the insular platform shores.

**Keywords:** Bathymetric zonation, Marine molluscs, Volcanic oceanic islands, Insular shelf

## 2. Introdução

### 2.1. Moluscos Marinhos, o seu habitat e a sua ecologia

O filo Mollusca é o segundo maior filo animal e o maior quando cingido aos oceanos. Segundo Rosenberg (2014) estão identificadas mais de 110.000 espécies extantes e constituem aproximadamente 23% de todos os organismos marinhos identificados (Vinther, 2015).

Utilizados frequentemente como espécies-modelo para o estudo de padrões de diversidade bentónicos (Shantharam & Baco, 2020), estes organismos apresentam uma enorme diversidade molecular e morfológica e, nas espécies que possuem concha, um registo fóssil extenso e de enorme valor científico (Ponder & Lindberg, 2020). Os moluscos marinhos apresentam também uma enorme diversidade nas suas características funcionais, tais como no modo de locomoção, habitat, dieta e desenvolvimento larval, para nomear algumas.

As classes Gastropoda e Bivalvia (referidas daqui em diante como moluscos marinhos) são comumente encontradas em tufos algais e em sedimentos marinhos ou firmemente agarrados à superfície de rochas (Ávila, 1998, 2000a, 2000b, 2003; Ávila & Azevedo, 1996; Ávila *et al.*, 1998, 2000, 2004), e reconhecidas pela presença de concha na grande maioria das espécies, sendo esta uma fonte de informação crucial, inclusive no que diz respeito à sua fase de desenvolvimento larvar, onde estes organismos são descritos como planctotróficos ou não-planctotróficos, conforme a presença ou ausência, respetivamente, de uma fase de alimentação durante a estadia destes organismos na coluna de água (Baptista *et al.*, 2021a, 2021b). A classificação do desenvolvimento larvar como planctotrófico ou não-planctotrófico é passível de ser feita com base numa estrutura da concha que é preservada nos indivíduos adultos (Caballero-Herrera *et al.*, 2023), chamada de protoconcha nos gastrópodes e prodissoconcha nos bivalves.

Atualmente, nos Açores estão identificadas 284 espécies marinhas de gastrópodes e 93 de bivalves, sendo estas espécies litorais ( $\leq 50$  m e  $\leq 100$  m respetivamente) (Cordeiro *et al.*, 2015; Cacabelos *et al.*, 2018; Delongueville *et al.*, 2019) e, para maiores profundidades, um trabalho publicado por Caballero-Herrera *et al.*, (2023) identificou 409 espécies numa cordilheira submarina ao largo dos Açores.

## **2.2. Zonação batimétrica dos moluscos marinhos nos Açores (estado-da-arte)**

Desde a década de 1990 que o estudo da malacologia focada nas espécies marinhas vem sendo desenvolvido com grande empenho, produzindo uma vasta série de trabalhos publicados, onde realçamos os seguintes: Ávila & Azevedo (1996), Ávila, (1998, 2000a, 2000b) e Ávila *et al.*, (1998, 2000, 2004). A questão da zonação batimétrica dos moluscos marinhos litorais foi estudada por Ávila (2003) e por Ávila *et al.* (2005), que estabeleceram a zonação batimétrica dos moluscos marinhos mais abundantes dos Açores desde a zona intertidal até os 30 m de profundidade. O recente trabalho de Caballero-Herrera *et al.* (2023) providenciou alguma informação sobre a zonação batimétrica dos moluscos marinhos em montes submarinos, mas neste caso para maiores profundidades.

## **2.3. Ilha de Santa Maria, contexto geográfico e geológico**

A ilha de Santa Maria, localizada entre as latitudes 36° 50' e 39° 45' N e longitudes 31° 17' e 24° 56' O e a cerca de 1.400 km de distância de Portugal continental (Melo *et al.*, 2022), é a ilha mais a sul do arquipélago dos Açores.

Das nove ilhas que constituem o arquipélago dos Açores, Santa Maria é a mais antiga, com uma rica e fascinante história geológica, que teve o seu início aproximadamente há 6 Ma (Ramalho *et al.*, 2017). Vulcânica na sua origem, tal como as restantes ilhas açorianas, Santa Maria apresenta uma plataforma insular assimétrica, com o bordo da plataforma mais distante da linha de costa a norte (7 a 8 km), enquanto os restantes quadrantes estão geralmente abaixo do 2 km de distância (Ávila *et al.*, 2008; Ramalho *et al.*, 2017; Ricchi *et al.*, 2020), e mais profundo (-120 a -180 m) na sua costa norte, quando comparado à restante costa da ilha, que apresenta um bordo da plataforma entre os -40 a -120 m.

Um facto que distingue a ilha de Santa Maria das restantes ilhas açorianas, é a presença de jazidas com abundantes restos fossilizados de plantas e de animais marinhos.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Amostragem e Coleção

Para este trabalho foram utilizadas amostras de sedimentos marinhos recolhidas durante um projeto desenvolvido pelo Instituto Hidrográfico, com o nome de “PLATMAR” (Evolução de PLATAformas insulares vulcânicas: A ilha de Sta. MARIA e implicações para avaliação de riscos, cartografia de habitats e gestão de agregados marinhos), o qual teve o Doutor Rui Quartau do Instituto Hidrográfico como responsável principal. A recolha das amostras foi efetuada durante expedições científicas a bordo do navio de investigação “Arquipélago” em 2018. Foi feito igualmente o levantamento batimétrico multifeixe em 2016 com o mesmo navio. Devido às dimensões do navio científico utilizado na recolha das amostras, não é possível uma grande aproximação deste à costa por razões de segurança, resultando assim na ausência de batimetria (e de amostras) no limiar da linha de costa em torno da ilha.

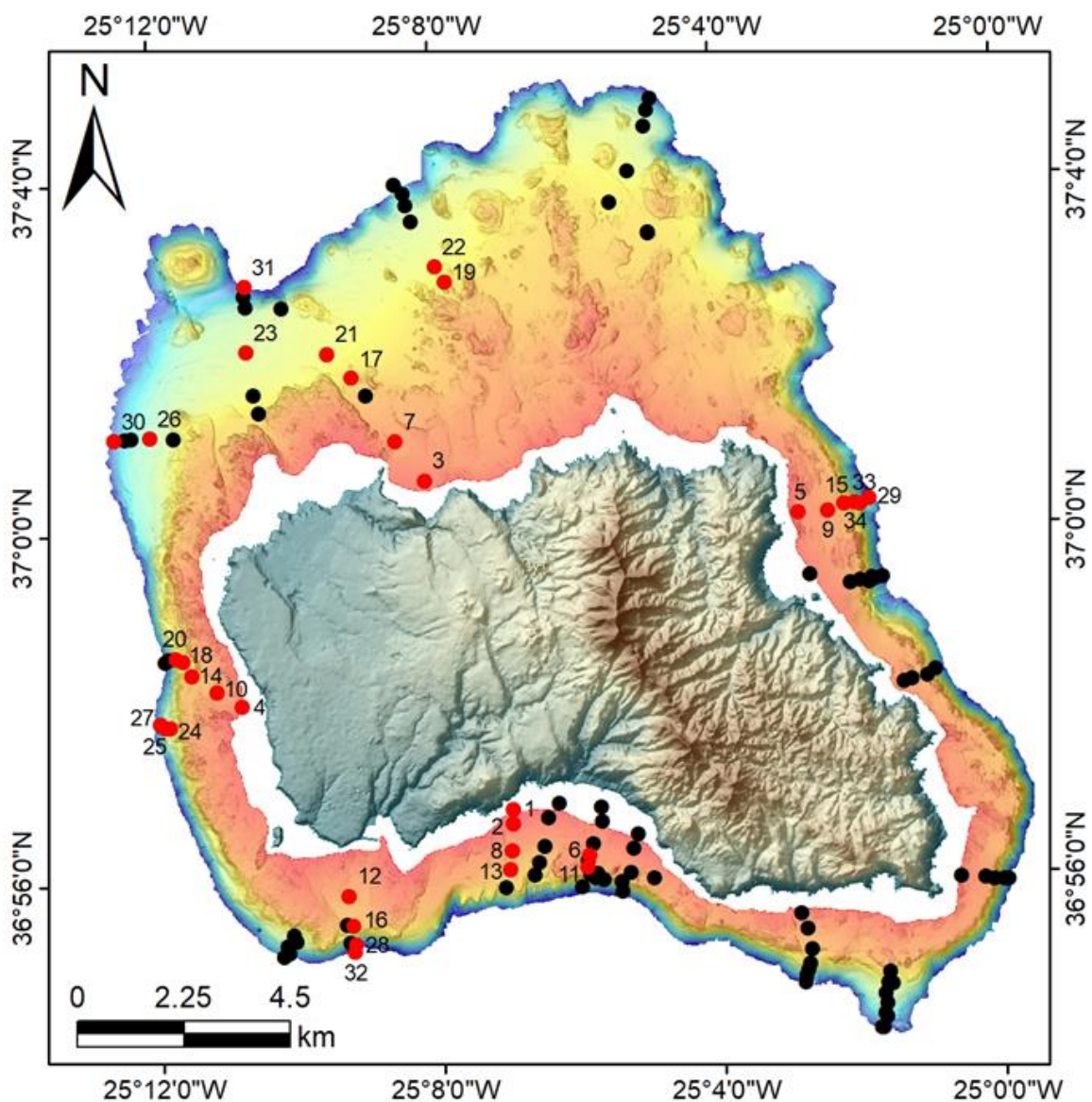
A amostragem dos sedimentos marinhos da plataforma insular de Santa Maria, foi feita com recurso a um amostrador do tipo Smith-McIntyre e a amostragem ocorreu nos quatro quadrantes da plataforma insular (Tabela 3.1; Fig. 3.1). Da totalidade das amostras foram selecionados quatro transectos para este estudo que receberam o nome correspondente à sua localização geográfica (norte, sul, leste e oeste) e a profundidades compreendidas entre os 10 e os 289 m. As amostras cedidas para este estudo têm entre 60 a 250 g, dependendo do tipo de sedimento. Ao todo foram recolhidas 118 amostras, embora para este estudo tenham sido analisadas apenas 34 amostras (Quartau *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2022).

As amostras foram subsequentemente divididas, tendo a componente sedimentológica sido analisada na Divisão de Geologia Marinha do Instituto Hidrográfico (Lisboa). As amostras para análise da componente biológica foram enviadas para a Universidade dos Açores, e posteriormente guardadas e catalogadas na coleção do Departamento de Biologia da Universidade dos Açores (DBUA), a cargo do Doutor Sérgio Ávila, responsável pelo Marine Palaeontology and Biogeography lab (MPB).

**Tabela 3.1.** Códigos, localização geográfica, profundidade de recolha e massa das amostras (triadas) recolhidas na plataforma insular e no bordo da plataforma da ilha de Santa Maria, no Arquipélago dos Açores.

Amostras Códigos				Localização Geográfica			Profundidade		Amostras
Estação	DBUA	IH	PLATMAR	Latitude	Longitude	Setor	Exata (m)	Qualitativa	Peso (g) triado
3	1659	2019/00002	PLATMAR2_003	37,00965	-25,1355333	Norte	20,5	LIT	113,18
7	1655	2019/00003	PLATMAR2_004	37,01715	-25,1423667	Norte	37	LIT	137,47
17	1656	2019/00001	PLATMAR2_002	37,029433	-25,1524667	Norte	75	MED	93,68
19	1715	2019/00017	PLATMAR2_080	37,04745	-25,1300333	Norte	86	MED	81,49
21	1650	2019/00010	PLATMAR2_012	37,0341	-25,15815	Norte	96	MED	174,97
22	1716	2019/00018	PLATMAR2_081	37,0504	-25,13225	Norte	96	MED	82,84
23	1652	2019/00008	PLATMAR2_009	37,03465	-25,1774667	Norte	116	MED	148,83
26	1635	2019/00101	PLATMAR2_015	37,018617	-25,2007	Norte	139	DEEP	86,96
30	1634	2019/00104	PLATMAR2_018	37,018167	-25,2091167	Norte	196	DEEP	78,83
31	1651	2019/00007	PLATMAR2_008	37,047133	-25,1775	Norte	234	DEEP	121,48
1	1737	2019/00142	PLATMAR2_047	36,94665	-25,1160167	Sul	10	LIT	156,11
2	1687	2019/00131	PLATMAR2_035	36,943983	-25,1160667	Sul	16	LIT	168,56
6	1638	2019/00126	PLATMAR2_ROD3	36,937733	-25,0981	Sul	31	LIT	236,18
8	1690	2019/00134	PLATMAR2_038	36,938817	-25,1164167	Sul	37	LIT	152,68
11	1632	2019/00127	PLATMAR2_ROD4	36,9355	-25,0985667	Sul	42	LIT	177,23
12	1707	2019/00011	PLATMAR2_026	36,93075	-25,1553167	Sul	44,5	LIT	111,85
13	1689	2019/00133	PLATMAR2_037	36,935167	-25,1168667	Sul	55	MED	166,71
16	1713	2019/00013	PLATMAR2_028	36,925117	-25,1544	Sul	63	MED	87,38
28	1711	2019/00015	PLATMAR2_030	36,921517	-25,154	Sul	180	DEEP	67,68
32	1710	2019/00016	PLATMAR2_031	36,920017	-25,1542167	Sul	286	DEEP	80,12
5	1744	2019/00183	PLATMAR2-67	37,002317	-25,0471	Leste	24	LIT	137,37
9	1748	2019/00188	PLATMAR2-72	37,002583	-25,0399333	Leste	39	LIT	212,46
15	1745	2019/00187	PLATMAR2-71	37,003867	-25,03615	Leste	59	MED	218,74
34	1747	2019/00184	PLATMAR2-68	37,00395	-25,0336333	Leste	95	MED	174,23

Amostras Códigos				Localização Geográfica			Profundidade		Amostras
Estação	DBUA	IH	PLATMAR	Latitude	Longitude	Setor	Exata (m)	Qualitativa	Peso (g) triado
33	1746	2019/00185	PLATMAR2-69	37,003883	-25,0322167	Leste	130	DEEP	211,16
29	1749	2019/00186	PLATMAR2-70	37,004817	-25,0300667	Leste	182	DEEP	159,67
4	1649	2019/00109	PLATMAR2_019	36,9672	-25,1798167	Oeste	21	LIT	203,43
10	1645	2019/00110	PLATMAR2_020	36,970017	-25,1858667	Oeste	40	LIT	219,83
14	1643	2019/00111	PLATMAR2_021	36,9731	-25,1916167	Oeste	57	MED	202,44
18	1647	2019/00112	PLATMAR2_022	36,975883	-25,1937167	Oeste	76	MED	189,03
20	1644	2019/00113	PLATMAR2_023	36,97655	-25,1954333	Oeste	94	MED	227,3
24	1636	2019/00105	PLATMAR2_086	36,9634	-25,1970333	Oeste	120	MED	248,06
25	1631	2019/00106	PLATMAR2_087	36,963383	-25,1983833	Oeste	139	DEEP	66,65
27	1637	2019/00107	PLATMAR2_088	36,963983	-25,19935	Oeste	163	DEEP	161,07

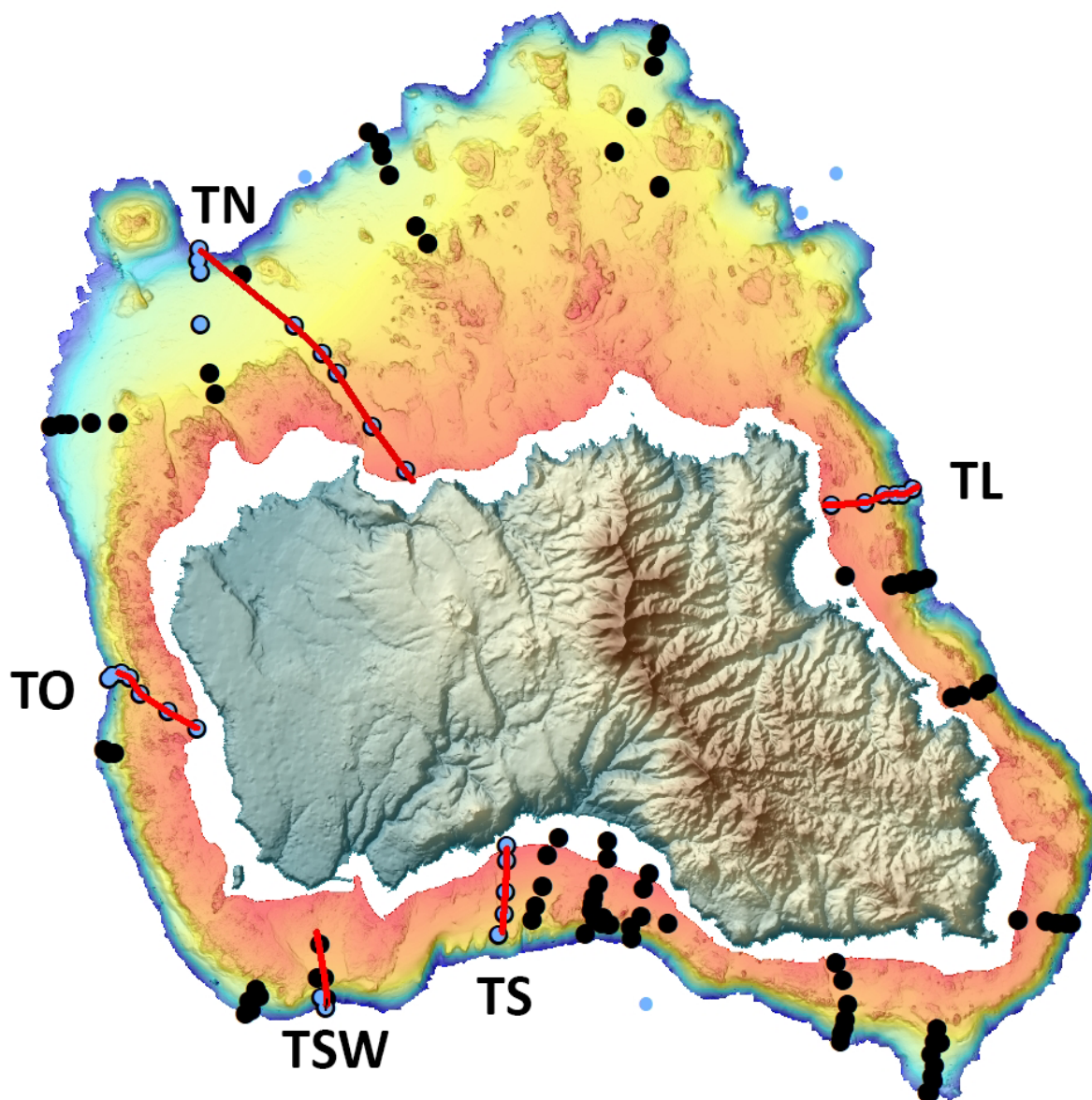


**Figura 3.1.** Localização das 118 amostras de sedimentos recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria, no decurso do projeto “PLATMAR”. Os círculos vermelhos indicam as amostras triadas neste trabalho; os círculos a preto indicam a localização de recolha de amostras que não foram triadas.

### 3.2. Amostras

A escolha dos transectos e as amostras associadas a estes, foi feita com o objetivo de haver 1 transecto ao longo de toda a profundidade por cada sector geográfico da plataforma. Para cobrir toda a gama de profundidades foi necessário dividir em dois sub-transectos para fins práticos as plataformas a norte e a sul (Fig. 3.2).

Foram triadas 34 amostras com uma massa de cerca de 5,2 kg, onde o único tratamento necessário foi a secagem das amostras, feita por via de um forno de laboratório a uma temperatura de 50°C durante 24 h, uma vez que torna a triagem destas mais fácil e eficiente.



**Figura 3.2.** Localização dos quatro transectos (assinalados com traço vermelho) e das 34 amostras triadas (círculos azuis) de sedimentos marinhos recolhidos na plataforma insular da ilha de Santa Maria, no decurso do projeto “PLATMAR”. TN: Transecto Norte. TL: Transecto Leste. TS: Transecto Sul. TSW: Transecto Sudoeste. TO: Transecto Oeste.

### **3.3. Triagem, Identificação e Contagem**

A triagem das amostras foi feita com recurso a um estereomicroscópio “Leica Zoom 2000”, na ampliação menor do aparelho (8x) e com pinças e pequenos pincéis para separar e recolher o material pertencente a moluscos marinhos, conchas e/ou fragmentos destas. Posteriormente, este material foi identificado até ao menor nível taxonómico possível, novamente com ajuda do estereomicroscópio “Leica Zoom 2000” e com base numa vasta bibliografia referente aos moluscos marinhos do Atlântico, bem como listas de verificação de espécies dos Açores.

Dada a natureza meticulosa deste processo, a fase de triagem deste trabalho durou mais de 1 ano. O material de dimensões extremamente pequenas e o material biológico que não era pertencente a moluscos marinhos não foi recolhido, por não ser prático ou por ser fora do âmbito deste trabalho. Este material não recolhido era maioritariamente originário dos seguintes taxa: Echinoidea, Crustacea, Bryozoa, Polychaeta (em particular, indivíduos da espécie *Ditrupa arietina*) e Foraminifera (em particular, indivíduos da espécie *Miniacina miniacea*), estas duas espécies foram identificadas dado a sua abundância nas amostras triadas. Todo o material triado, bem como o não triado, está guardado na coleção DBUA.

## 4. Resultados

### 4.1. Biodiversidade e abundância

Um total de 30.648 indivíduos foram contados e identificados, pertencentes a 45 espécies (8 bivalves e 37 gastrópodes) (Tabela 4.1). Este número de espécies e indivíduos identificados será certamente maior, uma vez que existe material biológico para o qual, devido aos danos apresentados, não foi possível obter uma identificação com exatidão. No caso dos géneros *Caecum*, *Cerithiopsis*, *Epitonium*, *Gibberula* e ainda da família Triphoridae, só foi possível identificar até aos níveis taxonómicos referidos devido à dificuldade notória na identificação das suas espécies, por falta de revisões atualizadas, em particular no caso dos Triphoridae.

A espécie que apresentou a maior abundância de indivíduos foi *Bittium nanum* com uma população total de 14.541 indivíduos. Este gastrópode é uma espécie endémica para os Açores e encontrada muito facilmente associada a algas ou em sedimento arenoso, sendo especialmente abundante desde os 2-3 m até os 20-25 m de profundidade (Ávila, 2003). As seguintes espécies de gastrópodes, apresentaram também populações na ordem dos milhares: *Alvania mediolittoralis* (2.225), *Tricolia azorica* (2.205), *Jujubinus pseudogravinae* (1.701), *Alvania sleursi* (1.629), e *Manzonia unifasciata* (1.002). Estas espécies têm em comum a particularidade de serem tipicamente litorais e as sua zonações batimétricas estão descritas como de pouca profundidade e amplitude, destacando-se *A. sleursi* e *B. nanum* com os limites mais profundos, fixados aos 22 m e 25 m de profundidade, respetivamente (Ávila, 2003; Ávila *et al.*, 2005). Embora com menor efetivo, o rissoídeo litoral *Rissoa guernei*, com uma zonação batimétrica típica entre os 3 e os 6 m de profundidade (Ávila, 2003), apresentou também uma população considerável, com 876 espécimes (Tabela 4.1).

No caso dos bivalves, a espécie com maior abundância foi *Ervilia castanea* com total de 2.669 espécimes contabilizados, seguindo-se as espécies *Tetarca tetragona* (490 espécimes) e *Cardita calyculata* com 316 indivíduos. Tal como no cenário dos gastrópodes, é importante destacar a zonação típica de *E. castanea*, uma espécie de bivalves que é encontrada com facilidade em praias e fundos arenosos, entre os 10 a 15 m de profundidade (Ávila & Porteiro, 2009; Ávila *et al.*, 2010a, 2010b).

**Tabela 4.1.** Profundidade e localização das 34 amostras de sedimentos marinhos recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria e abundância das espécies de moluscos marinhos triados dessas amostras.

Espécies ID	Classe taxonómica	Amostras profundidade ordem crescente (Código DBUA)																																		TOTAL	
		1737	1687	1659	1649	1744	1638	1655	1690	1748	1645	1632	1707	1689	1643	1745	1713	1656	1647	1715	1644	1650	1716	1652	1636	1631	1635	1637	1711	1749	1634	1651	1710	1746	1747		
<i>Arca noae</i>	Bivalvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	2	0	0	4	0	0	0	0	2	0	1	0	0	15	
<i>Cardita calyculata</i>	Bivalvia	0	2	0	20	0	6	37	6	0	22	1	9	5	19	0	19	7	34	18	8	22	17	2	12	6	0	5	16	1	1	3	18	0	0	316	
<i>Ervilia castanea</i>	Bivalvia	126	98	30	5	21	21	90	621	192	14	58	19	111	51	143	164	44	89	13	10	129	0	18	0	0	11	0	190	68	9	0	45	54	225	2669	
<i>Myrtea spinifera</i>	Bivalvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Papillicardium papillosum</i>	Bivalvia	0	0	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	10	6	9	0	0	0	3	0	3	3	0	6	3	0	15	0	0	64	
<i>Parvicardium vroomi</i>	Bivalvia	0	6	3	0	0	2	17	6	1	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	42	
<i>Tetrarca tetragona</i>	Bivalvia	0	1	0	0	0	0	7	0	0	2	9	2	8	12	0	9	3	41	66	2	33	47	17	80	34	24	14	15	8	0	8	40	7	1	490	
<i>Venus casina</i>	Bivalvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	
<i>Alvania angioyi</i>	Gastropoda	2	8	0	15	1	8	13	51	0	7	10	2	0	0	2	0	1	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	0	0	0	141	
<i>Alvania cancellata</i>	Gastropoda	0	0	0	5	0	1	11	0	1	3	0	10	8	5	0	0	0	123	0	6	5	0	0	42	0	0	0	6	0	0	0	16	0	0	242	
<i>Alvania mediolittoralis</i>	Gastropoda	0	1	1	185	1	0	222	27	1	137	6	188	42	140	2	154	195	370	0	90	295	1	10	4	0	0	0	133	0	0	0	4	10	6	2225	
<i>Alvania sleursi</i>	Gastropoda	0	2	1	65	0	44	56	24	4	74	31	141	67	136	3	127	78	285	15	78	187	14	13	8	0	0	0	173	3	0	0	0	0	0	1629	
<i>Anachis avaroides</i>	Gastropoda	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	2	0	0	2	0	3	5	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	34	
<i>Bela nebula</i>	Gastropoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	462	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	463
<i>Bitium nanum</i>	Gastropoda	71	129	70	1677	45	383	773	475	28	1137	2157	0	626	556	44	508	335	3267	169	647	227	121	147	62	0	63	32	307	5	138	203	55	31	53	14541	
<i>Botryphallus ovummuscae</i>	Gastropoda	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
<i>Caecum</i> sp.	Gastropoda	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	2	2	0	1	0	1	4	0	1	0	0	0	0	7	0	0	0	3	15	0	0	0	41	
<i>Cerithiopsis</i> sp.	Gastropoda	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	2	3	0	6	0	0	3	1	1	2	0	5	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	34	





## 4.2. Características funcionais

Todas as espécies de moluscos que constam da Tabela 4.2 possuem uma concha aragonítica. Acessoriamente, cinco espécies de gastrópodes (3 espécies de *Epitonium*, a lapa *Haliotis tuberculata* e *Opalia crenata*) possuem também uma baixa percentagem de magnésio/calcite na concha. Olhando para as restantes características funcionais dos bivalves, na sua maioria apresentam mobilidade facultativa, com a exceção de duas espécies (*Arca noae* e *Tetrarca tetragona*), ambas com mobilidade muito reduzida na fase adulta, uma vez que se fixam ao substrato por um bisso. No que toca ao habitat, as espécies identificadas estão divididas entre epifaunais e infaunais. Com exceção da *Myrtea spinifera*, que é fotossimbiótica, todas as restantes espécies de bivalves são filtradoras e possuem um desenvolvimento larval planctotrófico (Tabela 4.2).

Nos gastrópodes, regra geral, as espécies apresentam uma mobilidade ativa, são maioritariamente epifaunais e dividem-se entre carnívoras e herbívoras, bem como entre planctotróficas e não-planctotróficas (Tabela 4.2). No caso particular das espécies de gastrópodes tipicamente litorais previamente referidas, isto é, *Bittium nanum*, *Alvania mediolittoralis*, *Alvania sleursi*, *Manzonia unifasciata*, *Rissoa guernei*, *Tricolia azorica*, e *Jujubinus pseudogravinae*, estas partilham as mesmas características funcionais, com a única exceção encontrada no desenvolvimento larval do *B. nanum*, sendo que esta espécie apresenta um desenvolvimento larval planctotrófico.

**Tabela 4.2.** Características funcionais das espécies de moluscos triadas nas amostras recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria (Açores).

Espécies ID	Classe Taxonómica	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS												
		COMPOSIÇÃO DA CONCHA			Locomoção				Hábito de Vida					
		Aragonite	Calcite	low Mg Calcite	Actively mobile	Slow-moving	Facultatively mobile	Estacionária	Epifaunal	Semi-infaunal / Low-level epifauna	Boring	Infaunal	Deep Infaunal	Pelagic / Nectonic
<i>Arca noae</i>	Bivalvia	1					1		1					
<i>Cardita calyculata</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Ervilia castanea</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Myrtea spinifera</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Papillicardium papillosum</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Parvicardium vroomi</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Tetrarca tetragona</i>	Bivalvia	1							1					1
<i>Venus casina</i>	Bivalvia	1						1					1	
<i>Alvania angioyi</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Alvania cancellata</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Alvania mediolittoralis</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Alvania sleursi</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Anachis avaroides</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Bela nebula</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Bittium nanum</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Botryphallus ovummuscae</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Caecum sp.</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Cerithiopsis sp.</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Coralliophila meyendorffii</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Crassopleura maravignae</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Crisilla postrema</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Ebala nitidissima</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Epitonium algerianum</i>	Gastropoda	1		1				1					1	
<i>Epitonium clathratulum</i>	Gastropoda	1		1				1					1	
<i>Epitonium sp.</i>	Gastropoda	1		1				1					1	
<i>Fossarus ambiguus</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Gibberula sp.</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Gibbula delgadensis</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Haliotis tuberculata</i>	Gastropoda	1		1		1							1	
<i>Jujubinus pseudogravinae</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Manzonia unifasciata</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Melarhappe neritoides</i>	Gastropoda	1				1							1	
<i>Metaxia metaxa</i>	Gastropoda	1				1							1	

<i>Odostomella doliolum</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Opalia crenata</i>	Gastropoda	1	1		1		1
<i>Retusa truncatula</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Rissoa guernei</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Setia alexandrae</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Sinezona cingulata</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Skeneopsis planorbis</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Tricolia azorica</i>	Gastropoda	1		1		1	
Triphoridae	Gastropoda	1		1		1	
<i>Trivia mediterranea</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Turbonilla lactea</i>	Gastropoda	1		1		1	
<i>Vitreolina philippi</i>	Gastropoda	1		1		1	

**Tabela 4.2 (continuação).** Características funcionais das espécies de moluscos triadas nas amostras recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria (Açores). n.a. – não aplicável. Tipo de desenvolvimento larvar: p-planctotrófico; np-não planctotrófico.

Espécies ID	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS										
	Dieta						Tipo de desenvolvimento larvar	Min depth (m)	Max depth (m)	Depth range (m)	Comprimento máximo da concha (mm)
	Carnívoro	Herbívoro / grazer	Deposit feeder	Suspension feeder	Photosymbiotic	Chemosymbiotic					
<i>Arca noae</i>				1			p	1	200	199	95,0
<i>Cardita calyculata</i>				1			p	0	200	200	32,0
<i>Ervilia castanea</i>				1			p	3	100	97	15,0
<i>Myrtea spinifera</i>					1		p	5	237	232	25,7
<i>Papillicardium papillosum</i>				1			p	0	1000	1000	25,0
<i>Parvicardium vrooni</i>				1			p	1	35	34	6,0
<i>Tetrarca tetragona</i>				1			p	0	157	157	56,0
<i>Venus casina</i>				1			p	5	271	266	66,1
<i>Alvania angioyi</i>		1					np	3	22	19	1,8
<i>Alvania cancellata</i>		1					p	2	74	72	3,7
<i>Alvania mediolittoralis</i>		1					np	0	24	24	2,7
<i>Alvania sleursi</i>		1					np	0	45	45	2,5
<i>Anachis avaroides</i>	1						np	0	60	60	7,0
<i>Bela nebula</i>	1						p	10	30	20	10,0
<i>Bittium nanum</i>		1					p	0	50	50	9,5
<i>Botryphallus ovummuscae</i>		1					np	0	20	20	1,3
<i>Caecum sp.</i>		1					p	n.a.	n.a.	n.a.	
<i>Cerithiopsis sp.</i>	1							n.a.	n.a.	n.a.	
<i>Coralliophila meyendorffii</i>	1						p	0	30	30	15,0
<i>Crassopleura maravignae</i>	1						p	15	250	235	15,0
<i>Crisilla postrema</i>		1					np	0	29	29	1,5
<i>Ebala nitidissima</i>	1							15	150	135	3,0
<i>Epitonium algerianum</i>	1						p	40	500	460	13,0
<i>Epitonium clathratulum</i>	1						p	30	100	70	15,0
<i>Epitonium sp.</i>	1						p			0	
<i>Fossarus ambiguus</i>		1					p	0	40	40	5,0
<i>Gibberula sp.</i>	1						np			0	
<i>Gibbula delgadensis</i>		1					np	0	40	40	2,0
<i>Haliotis tuberculata</i>		1					np	0	40	40	70,0
<i>Jujubinus pseudogravinae</i>		1					np	0	80	80	13,0
<i>Manzonina unifasciata</i>		1						0	20	20	2,5
<i>Melarhaphe neritoides</i>		1					p	0	0	0	8,0

<i>Metaxia metaxa</i>	1		np	22	183	161	
<i>Odostomella doliolum</i>	1			0	800	800	3,0
<i>Opalia crenata</i>	1		p	0,3	82	81,7	20,0
<i>Retusa truncatula</i>	1		p	1	200	199	5,0
<i>Rissoa guernei</i>		1	np	3	30	27	2,3
<i>Setia alexandrae</i>		1	np	0	20	20	1,2
<i>Sinezona cingulata</i>		1	np	0	60	60	4,0
<i>Skeneopsis planorbis</i>		1	np	0	70	70	2,0
<i>Tricolia azorica</i>		1	np	0	35	35	4,0
Triphoridae	1			n.a.	n.a.	n.a.	
<i>Trivia mediterranea</i>	1		p	3	780	777	8,0
<i>Turbonilla lactea</i>	1			5	95	90	10,0
<i>Vitreolina philippi</i>	1		p	10	30	20	4,0

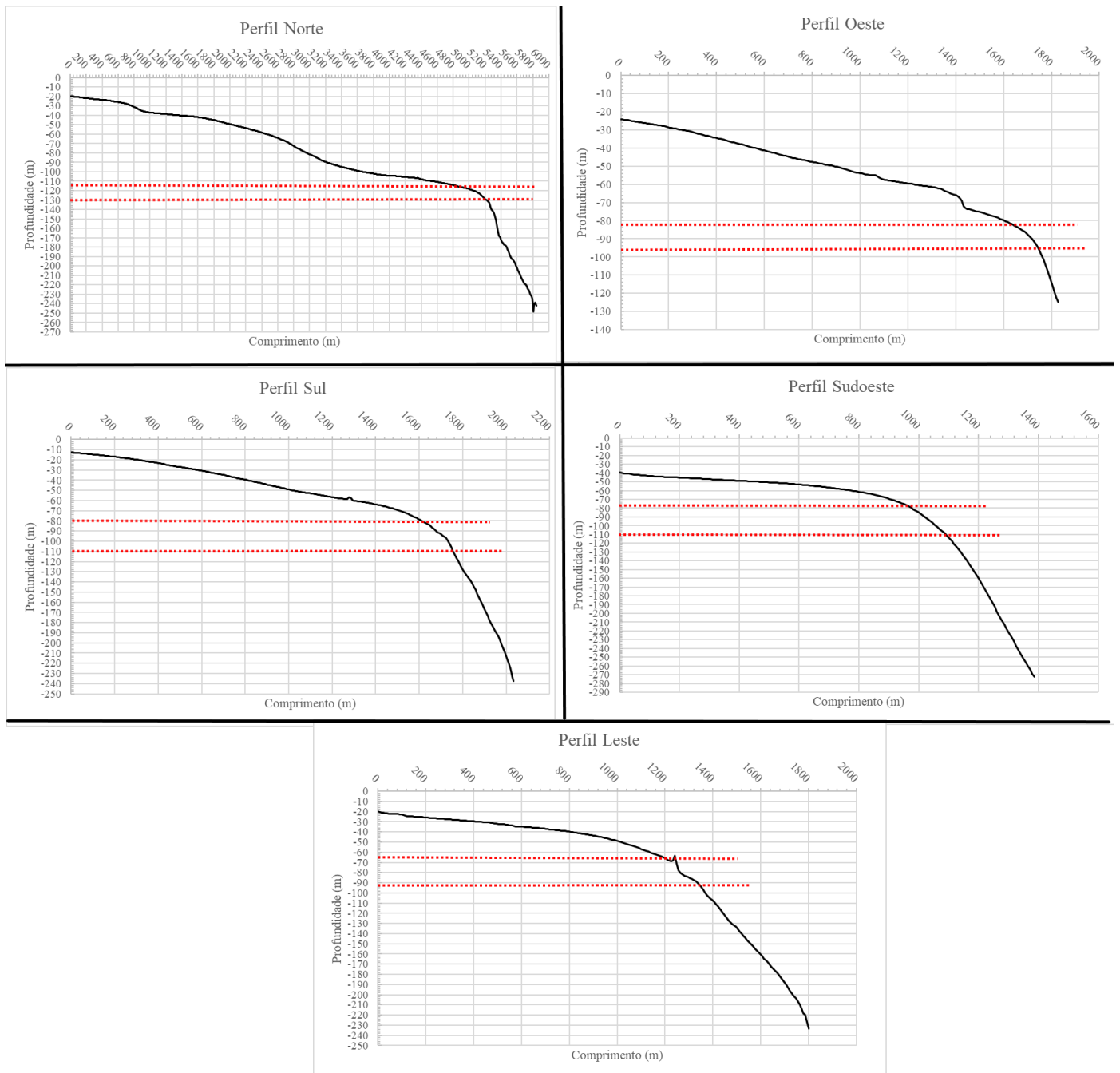
### 4.3. Descrição dos Perfis Batimétricos

Abaixo, descrevemos os perfis batimétricos dos cinco transectos delineados na Figura 3.2. O perfil batimétrico correspondente ao transecto realizado na costa Norte da ilha, foi o mais extenso, com aproximadamente 5,8 km de comprimento (Fig. 4.1). Apresenta um declive pouco acentuado do seu início ( $\approx -20$  m) até aos -60 m. A partir desta profundidade e até aos -100 m, o declive aumenta, com o bordo da plataforma insular localizado cerca dos 125 m de profundidade. Para lá dos -130 m, o declive torna-se bastante acentuado.

No transecto da costa Oeste, o perfil tem aproximadamente 1,8 km de comprimento e inicia-se aos 24 m de profundidade. O declive aparenta ser constante até aos -60 m, onde há a existência de uma variação acentuada até  $\approx -73$  m. O bordo da plataforma insular ocorre cerca dos 90 m de profundidade, sendo o declive bastante acentuado após os -97 m (Fig. 4.1).

O perfil do transecto Leste, apresenta algumas semelhanças com a costa oeste, tem cerca de 1,8 km comprimento e início aos 20 m de profundidade. O declive é pouco acentuado até cerca dos 55 m de profundidade, atingindo-se o bordo da plataforma insular por volta dos 90 m de profundidade. A partir dos -92 m, o declive acentua-se, sendo, no entanto, menos acentuado quando comparado com os transectos Norte e Oeste (Fig. 4.1).

Finalmente, o perfil Sul tem um comprimento de  $\approx 2$  km e início aos 12 m de profundidade, com um declive constante e não muito acentuado, este atingir o bordo da plataforma insular por volta dos 80 m de profundidade até aos 100 m de profundidade (Fig. 4.1). Quanto ao perfil Sudoeste, tem uma extensão de aproximadamente 1,4 km de comprimento, início aos 40 m de profundidade e tem um declive muito pouco acentuado até aos -80 m. Semelhante perfil do transecto Sul, o bordo da plataforma insular está entre os -80 e -110 m e após este, o declive aumenta (Fig. 4.1).



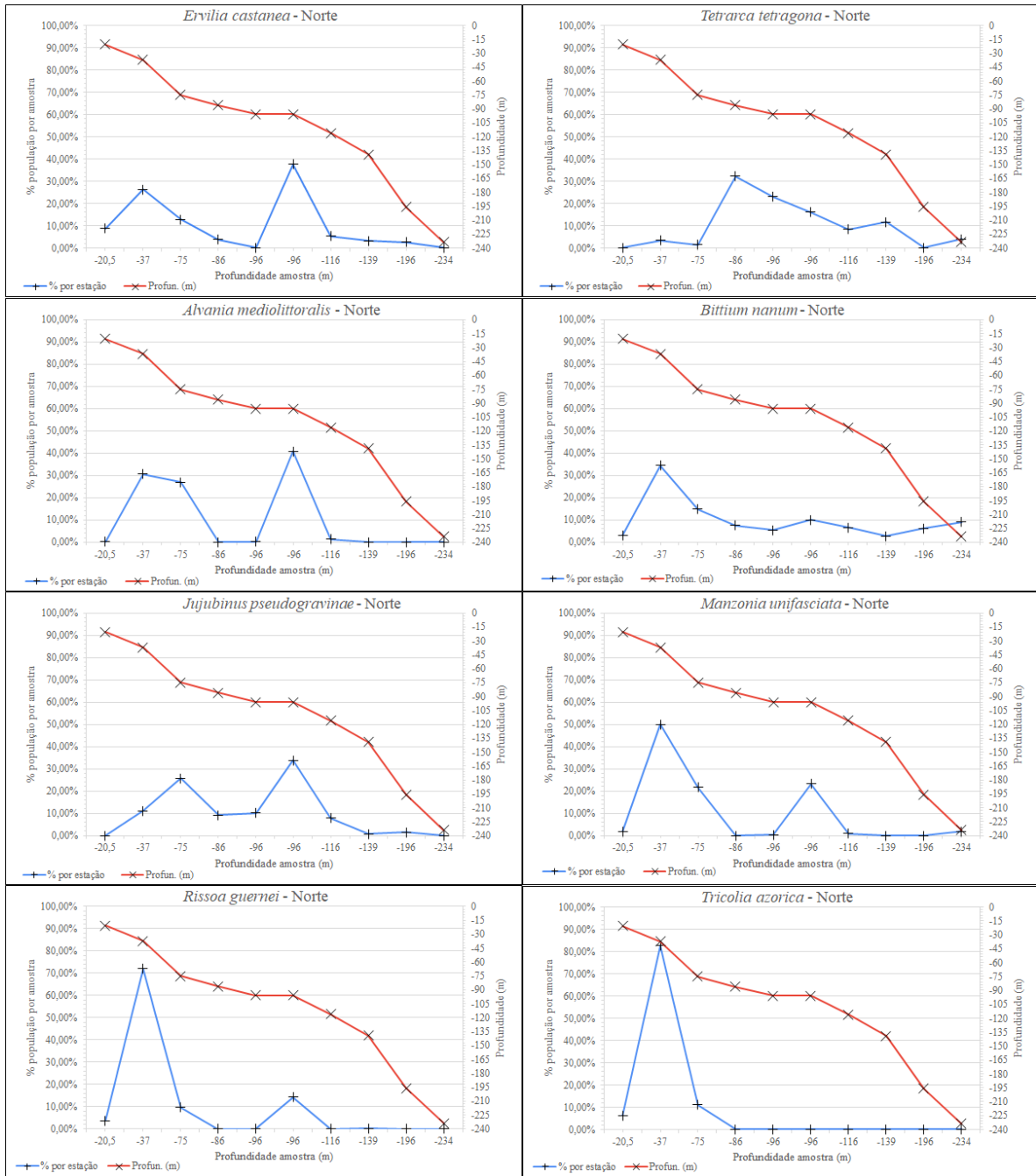
**Figura 4.1.** Perfis batimétricos referentes aos transectos (linha preta) indicados na Figura 3.2. e o limite do bordo insular (linhas vermelhas).

#### **4.4. Descrição da distribuição batimétrica das espécies litorais mais abundantes nos transectos realizados (Cf. Fig. 3.2)**

Para o estudo da distribuição batimétrica das espécies de moluscos marinhos mais abundantes pelos transectos realizados (Cf. Fig. 3.2), procedeu-se previamente ao cálculo da percentagem relativa de cada espécie por profundidade amostrada em cada recolha realizada ao longo do transecto.

No transecto “Norte” foram contabilizadas as seguintes populações: *E. castanea*, 344 indivíduos; *T. tetragona* 205 indivíduos; *A. mediolittoralis* 724 indivíduos; *B. nanum* 2.246 indivíduos; *J. pseudogravinae* 385 indivíduos; *M. unifasciata* 322 indivíduos; *R. guernei* 329 indivíduos; e *T. azorica* 288 indivíduos.

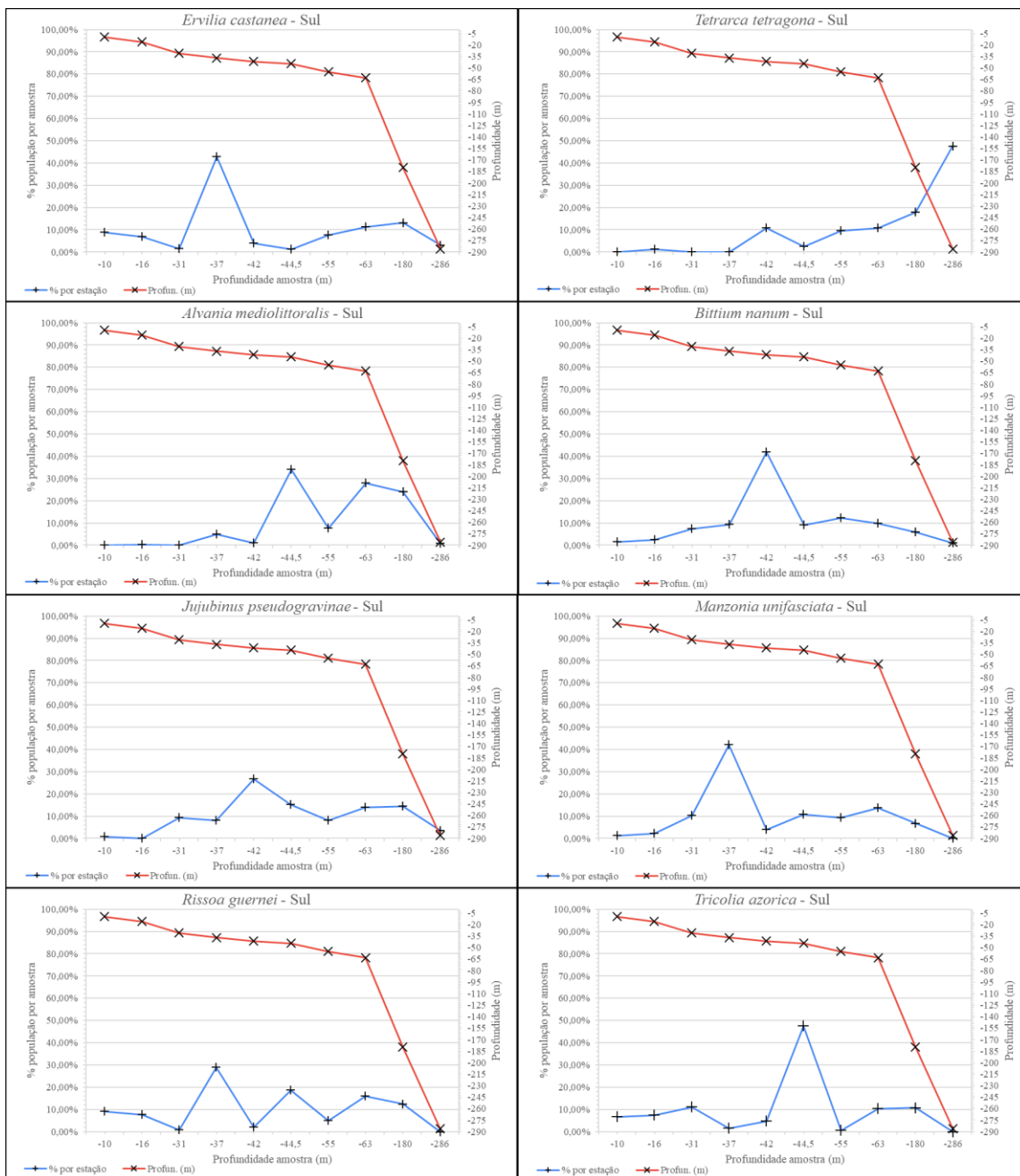
Neste transecto *R. guernei* e *T. azorica* apresentam a sua maior percentagem de abundância de entre todos os transectos, ambas aos 37 m de profundidade. Igualmente a esta profundidade, as espécies *B. nanum* e *M. unifasciata* apresentam a sua maior percentagem de abundância neste transecto. As restantes espécies apresentaram a sua maior percentagem de abundância aos 96 metros de profundidade (Fig. 4.2).



**Figura 4.2.** Perfis batimétricos (a vermelho) e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos (a azul) triadas das amostras recolhidas no transecto “Norte” (Cf. Fig. 3.2).

Nos transectos “Sul + Sudoeste” obtivemos as seguintes populações: *E. castanea*, 1.453 indivíduos; *T. tetragona* 84 indivíduos; *A. mediolittoralis* 555 indivíduos; *B. nanum* 5.173 indivíduos; *J. pseudogravinae* 883 indivíduos; *M. unifasciata* 235 indivíduos; *R. guernei* 145 indivíduos; e *T. azorica* 522 indivíduos.

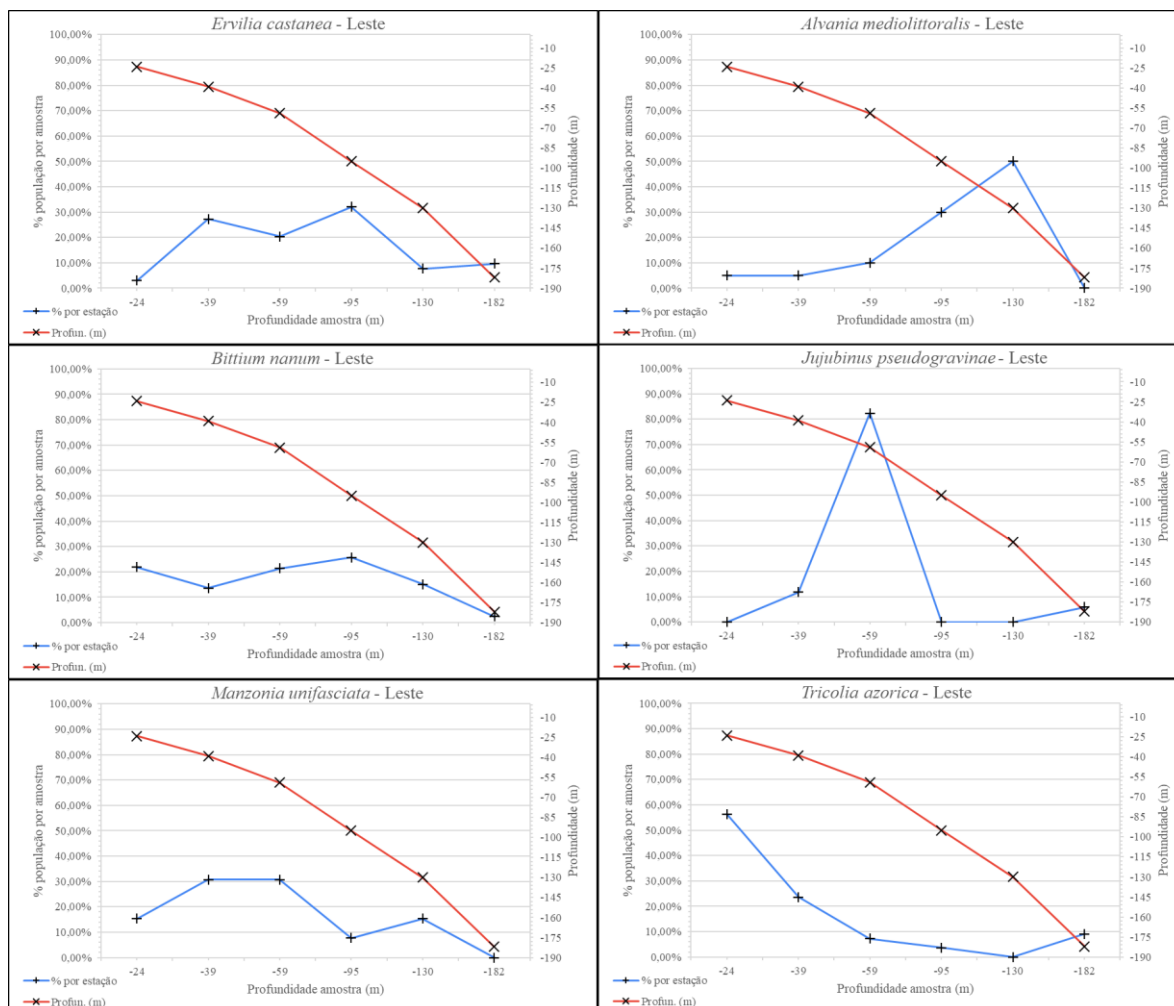
Neste transecto, *R. guernei* voltou a apresentar a sua maior percentagem de abundância aos 37 m de profundidade igual ao transecto “Norte”. A esta mesma profundidade encontram-se igualmente, em maior percentagem de abundância, as espécies *M. unifasciata* e *E. castanea*.. Aos 42 m de profundidade abundam as espécies *B. nanum* e *J. pseudogravinae* sendo que *A. mediolittoralis* e *T. azorica* apresentam a sua maior abundância aos 44 metros de profundidade (Fig. 4.3).



**Figura 4.3.** Perfis batimétricos (a vermelho) e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos (a azul) triadas das amostras recolhidas nos transectos “Sul + Sudoeste” (Cf. Fig. 3.2).

No transecto “Leste” as populações são as seguintes: *E. castanea*, 703 indivíduos; *T. tetragona* 16 indivíduos; *A. mediolittoralis* 20 indivíduos; *B. nanum* 206 indivíduos; *J. pseudogravinae* 17 indivíduos; *M. unifasciata* 13 indivíduos; *R. guernei* 6 indivíduos; e *T. azorica* 55 indivíduos. Este foi o transecto que apresentou as menores populações, com a clara exceção da *E. castanea* que apresenta a segunda maior população dentre todos os transectos.

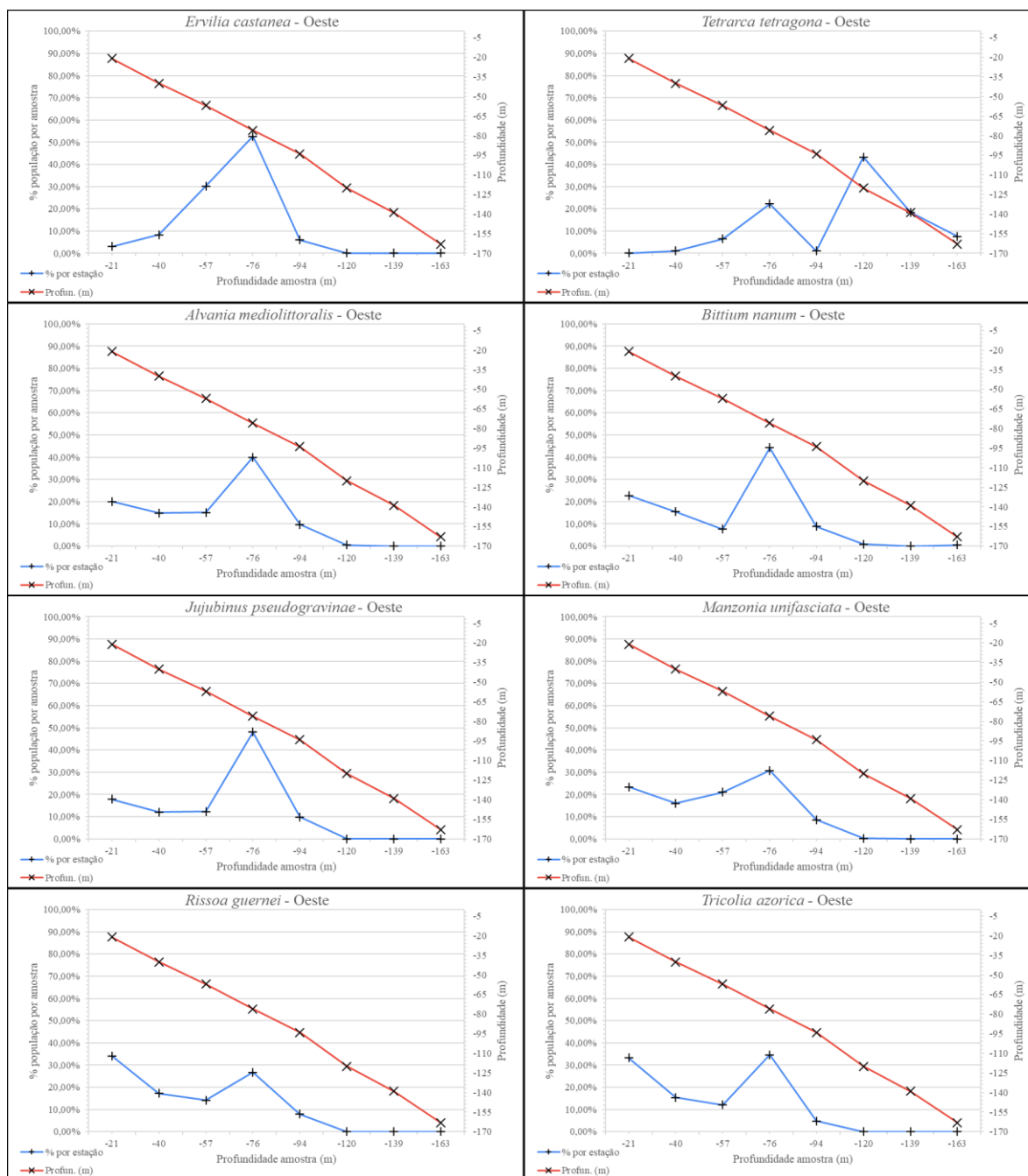
Neste transecto *A. mediolittoralis* apresentou a sua maior percentagem de abundância global, aos 130 m de profundidade, no entanto dado à baixa população este valor deve ser considerado um outlier, semelhante caso para as espécies *J. pseudogravinae*, *M. unifasciata* e *R. guernei*. *Bittium nanum* e *E. castanea* apresentam maior abundância aos 95 m de profundidade, ao passo que *T. azorica* atinge a sua maior percentagem neste transecto aos 24 m de profundidade (Fig. 4.4).



**Figura 4.4.** Perfis batimétricos (a vermelho) e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos (a azul) triadas das amostras recolhidas no transecto “Leste” (Cf. Fig. 3.2).

Finalmente, no transecto “Oeste” as populações são as seguintes: *E. castanea*, 169 indivíduos; *T. tetragona* 185 indivíduos; *A. mediolittoralis* 926 indivíduos; *B. nanum* 7.378 indivíduos; *J. pseudogravinae* 416 indivíduos; *M. unifasciata* 432 indivíduos; *R. guernei* 396 indivíduos; e *T. azorica* 1.340 indivíduos.

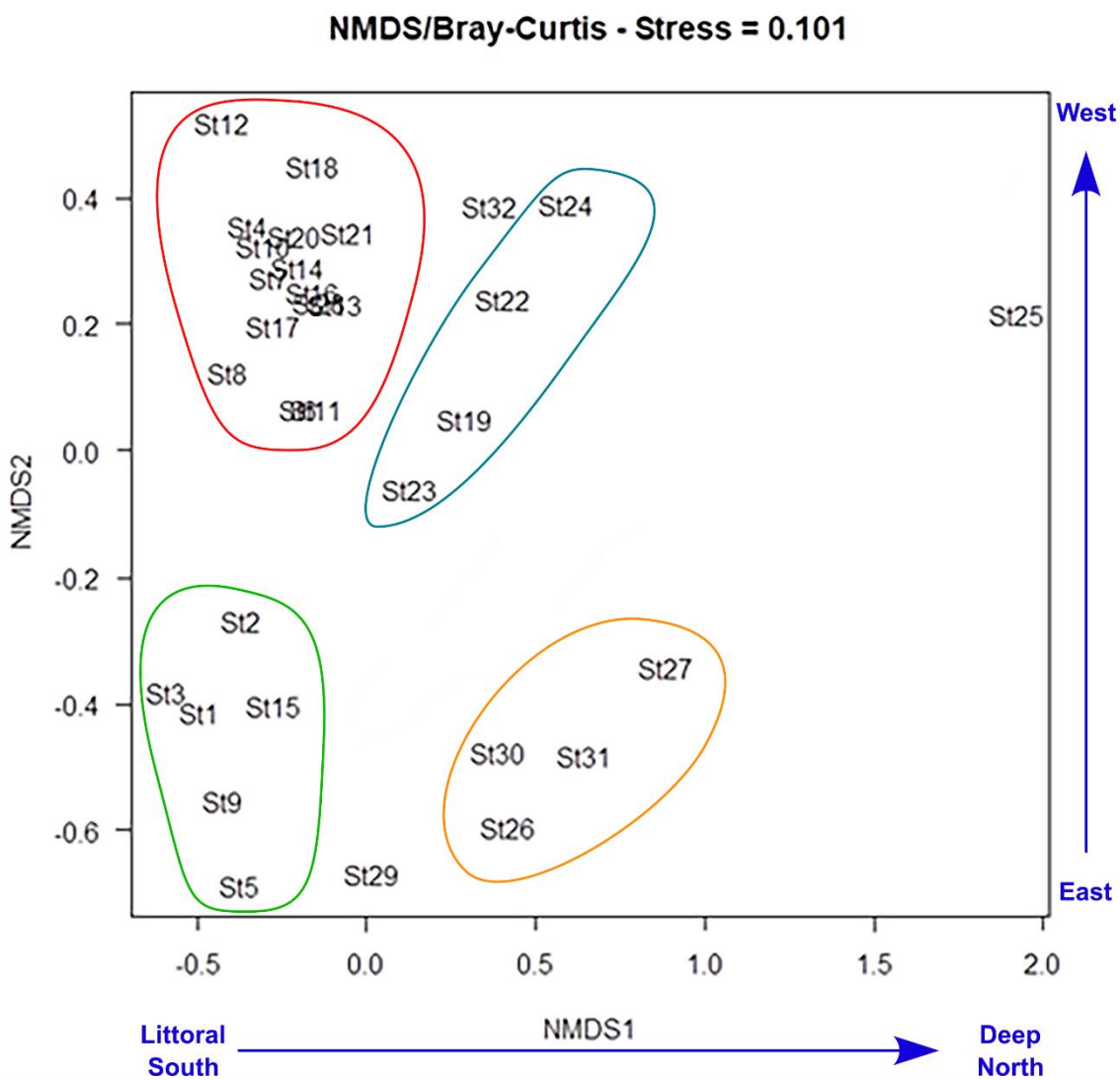
Neste transecto, as espécies *E. castanea*, *B. nanum*, *J. pseudogravinae* e *M. unifasciata*, apresentaram a maior percentagem de abundância dentre todos os transectos, com esta a ocorrer aos 76 m de profundidade. *Alvania mediolittoralis* e *T. azorica* também são mais abundantes a esta profundidade. A maior percentagem de abundância de *R. guernei* neste transecto ocorre aos 21 m de profundidade. (Fig. 4.5)



**Figura 4.5.** Perfis batimétricos (a vermelho) e distribuição batimétrica das espécies mais abundantes de moluscos marinhos (a azul) triadas das amostras recolhidas no transecto “Oeste” (Cf. Fig. 3.2).

#### **4.5. Resultados Estatísticos**

Devido ao elevado número de “zeros” presentes na Tabela 4.1, optou-se por utilizar uma análise multivariada por escalonamento multidimensional não métrico (NMDS – “Non-Metric multiDimensional Scaling”) (Clarke, 1993). Esta análise de gradiente indireto produz uma ordenação das 34 estações amostradas baseada numa matriz de distância ou dissimilaridade (Fig. 4.6). Ao contrário dos métodos que tentam maximizar a variância ou a correspondência entre objetos numa ordenação, o NMDS tenta representar, o mais próximo possível, a dissimilaridade entre pares de objetos num espaço de baixa dimensão. O valor de Stress é de 0,101, o que indica que a classificação produzida pelo NMDS é boa (Kenkel & Orloci, 1986). O eixo NMDS1 é interpretado simultaneamente como representando a transição de estações de baixa profundidade/litorais e localizadas predominantemente na costa Sul (valores negativos) para estações de maior profundidade e localizadas predominantemente na costa Norte (valores positivos). Quanto ao eixo NMDS2 é interpretado como representando a transição de estações localizadas predominantemente na costa Leste (valores negativos) para estações localizadas predominantemente na costa Oeste (valores positivos).



**Figura 4.6.** Gráfico representativo da análise multivariada por escalonamento multidimensional não métrico (NMDS – “Non-Metric multiDimensional Scaling”) efetuada sobre as 34 estações amostradas.

## 5. Discussão

Do ponto de vista oceanográfico, Ricchi *et al.* (2020) demonstraram que, para o período de 1957 a 2019, a maioria das ondas que atingiram a ilha de Santa Maria se aproximaram vindas dos quadrantes Noroeste (35%) e Oeste (22%). Zhao *et al.* (2019) concluíram também que, no Arquipélago dos Açores, a altura das ondas é geralmente mais elevada no Inverno do que no Verão, com tempestades a afetarem os Açores, em média, a cada sete anos, e com alturas extremas de ondas de cerca de 16 m (Campos *et al.*, 2022). Por outro lado, as marés possuem amplitudes médias de 1,44 m na ilha de Santa Maria (Ricchi *et al.*, 2018), mas não existem dados para aferir a velocidade das correntes induzidas por estas.

É igualmente bem conhecido que os ventos que atuam na superfície do oceano produzem correntes de superfície em direção a terra (Apel, 1987). Estas correntes empilham água contra as arribas causando um gradiente de pressão (“storm surge”). Este gradiente é equilibrado pela formação de correntes de fundo em direção ao largo, tal como as “rip currents” que acontecem nas praias durante tempestades. Correntes semelhantes foram inferidas para a ilha Sable, no Canadá (Amos *et al.* 2003), e observado localmente com correntes de fundo e outros dados a sul da Ilha do Faial (Quartau *et al.*, 2012). Estas correntes de fundo são responsáveis pelo transporte, perpendicularmente à linha de costa, de sedimentos marinhos e de material biogénico. Este transporte é confirmado pelos nossos dados (Cf. Tabela 5.1), os quais mostram que as conchas de indivíduos mortos pertencentes a espécies de moluscos que são comuns nas costas dos Açores e típicas de águas pouco profundas tais como *Alvania angioyi*, *Alvania mediolittoralis*, *Gibbula delgadensis*, *Manzonina unifasciata*, *Rissoa guernei* ou *Tetrarca tetragona*, surgem em elevada quantidade a profundidades muito superiores àquelas em que ocorrem quando vivos. De facto, Ávila e colegas demonstraram que as espécies atrás citadas são tipicamente litorais (Ávila, 1998, 2003, 2005; Ávila *et al.*, 2005). Ora, tendo por nós sido encontradas neste trabalho muito além das suas zonações descritas e inclusive em profundidades que ultrapassam o que é estipulado como litoral, comprovamos assim, de forma indireta e através da contagem de moluscos marinhos, a ocorrência de transporte sedimentar ao longo da plataforma insular para maiores profundidades.

**Tabela 5.1.** Características funcionais das espécies de moluscos triadas nas amostras recolhidas na plataforma insular da ilha de Santa Maria (Açores). n.a. – não aplicável.

Espécies ID	TOTAL	Zonação batimétrica (animais vivos)	Transecto Norte	Transecto Sul + Sudoeste	Transecto Leste	Transecto Oeste
		Profundidade (m)	Profundidade (m) a que se regista a maior abundância na plataforma insular	Profundidade (m) a que se regista a maior abundância na plataforma insular	Profundidade (m) a que se regista a maior abundância na plataforma insular	Profundidade (m) a que se regista a maior abundância na plataforma insular
<i>Bittium nanum</i>	14541	3 a 25	37	42	95	76
<i>Ervilia castanea</i>	2669	10 a 25	96	37	95	76
<i>Alvania mediolittoralis</i>	2225	0 a 1	96	44,5	130	76
<i>Tricolia azorica</i>	2205	3 a 25	37	44,5	24	76
<i>Jujubinus pseudogravinae</i>	1701	5 a 25	96	42	59	76
<i>Alvania sleursi</i>	1629	15 a 25	96	180	n.a.	76
<i>Manzonia unifasciata</i>	1002	3 a 8	37	37	39 a 59	76
<i>Rissoa guernei</i>	876	3 a 8	37	37	n.a.	21
<i>Tetrarca tetragona</i>	490	0 a 2	86	286	n.a.	120
<i>Cardita calyculata</i>	316	0 a 10	37	63	n.a.	76
<i>Alvania cancellata</i>	242	10 a 30	n.a.	286	n.a.	76
<i>Alvania angioyi</i>	141	3 a 8	86	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Gibbula delgadensis</i>	113	3 a 8	75	63	n.a.	76

## **6. Agradecimentos**

S. Arruda agradece ao Instituto Hidrográfico a cedência de amostras do projeto PTDC/GEOGEO/0051/2014 “PLATMAR” (Evolução de PLATaformas insulares vulcânicas: A ilha de Sta. MARia e implicações para avaliação de riscos, cartografia de habitats e gestão de agregados marinhos), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia. S.P. Ávila agradece o seu contrato de investigação FCT/2023.07418 CEEECIND. Agradecemos ainda os seguintes apoios institucionais: FCT (UIDB/50027/2020, POCI-01-0145-FEDER-006821, UIDB/00153/2020, LA/P/0048/2020), Governo Regional dos Açores (M1.1.a/005/Funcionamento-C-/2016, CIBIO-A; M1.1.A/INFRAEST CIENT/A/001/2021 - Base de Dados da PaleoBiodiversidade da Macaronésia; M3.3.B/ORG.R.C./005/2021, M3.3.B/ORG.R.C./008/2022/EDIÇÃO 1, M3.3.G/EXPEDIÇÕES CIENTÍFICAS/005/2022 e M3.3.G/EXPEDIÇÕES CIENTÍFICAS/004/2022). Samuel Arruda beneficiou de apoio financeiro no âmbito dos seguintes projetos: VRPROTO: Virtual Reality PROTOtype: the geological history of “Pedra- que-pica”: ACORES-01-0145-FEDER-000078.

## 7. Referências

- Amos, C.L., Li, M.Z., Chiocci, F.L., Monica, G.B.L., Cappucci, S., King, E.H., & Corbani, F., 2003. Origin of shore-normal channels from the shoreface of Sable Island, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 108: 3094.
- Apel, J.R., 1987. *Principles of Ocean Physics*: New York, Academic Press, 634 p.
- Ávila, S.P., 1998. Zonação intertidal de uma comunidade malacológica numa lagoa costeira localizada na costa Sul da ilha do Pico, Açores. *Açoreana*, 8(4), 436–486.
- Ávila, S.P., 2000a. Sistemática e Ecologia dos Moluscos (Gastropoda, Bivalvia e Polyplacophora) Litorais em São Vicente, Capelas (São Miguel, Açores), MSc. thesis, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14725.09440>
- Ávila, S.P., 2000b. Shallow-water marine molluscs of the Azores: biogeographical relationships. *Arquipélago. Life and Marine Sciences. Supplement 2 (Part A)*: 99–131.
- Ávila, S.P., 2003. The littoral molluscs (Gastropoda, Bivalvia and Polyplacophora) of São Vicente, Capelas (São Miguel Island, Azores): Ecology and biological associations to algae. *Iberus*. 21. 11-33.
- Ávila, S.P., 2005. Processos e padrões de dispersão e colonização nos rissoidae (Mollusca: Gastropoda) dos Açores, Ph.D. thesis, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal.
- Ávila, S.P., 2009. Os fósseis de Santa Maria. *Portugala*. 14. 29-33.
- Ávila, S.P., & Azevedo, J.M.N., 1996. Checklist of the marine molluscs of the littoral of Pico Island (Azores, Portugal). In *Libro de Resúmenes XI Congresso Nacional de Malacología*. (pp. 106–107).
- Ávila, S.P. & Porteiro, F., 2009. Projeto de reordenamento do Porto da Horta. Caracterização da situação de referência. Relatório 1ª fase, 10 pp.
- Ávila, S.P., Azevedo, J.M.N., Gonçalves, J.M., Fontes, J. & Cardigos, F., 1998. Checklist of the shallow-water marine molluscs of the Azores: 1 - Pico, Faial, Flores and Corvo. *Açoreana*, 8: 487–523.
- Ávila S.P., Azevedo J.M.N., Gonçalves J.M., Fontes J. & Cardigos F., 2000. Checklist of the shallow-water marine molluscs of the Azores: 2 - São Miguel island. *Açoreana*, 9: 139–173.
- Ávila, S.P., Cardigos, F. & Santos, R.S., 2004. D. João de Castro Bank, a shallow water hydrothermal-vent in the Azores: checklist of the marine molluscs. *Arquipélago - Life and Marine Sciences*, 21A: 75–80.

- Ávila, S.P., Santos, A., Penteadó, A., Rodrigues, A., Quintino, I., & Machado, I., 2005. The molluscs of the intertidal algal turf in the Azores. *Iberus*. 23. 67-76.
- Ávila, S.P., Madeira, P., Da Silva, C.M., Cachão, M., Landau, B., Quartau, R., & Martins, A.M., 2008. Local disappearance of bivalves in the Azores during the last glaciation: *Journal of Quaternary Science*, v. 23, no. 8, p. 777–785, doi:10.1002/jqs.1165
- Ávila, S.P., Guedes, R. & Porteiro, F., 2010a. Primeira monitorização da qualidade ambiental durante a fase de execução da obra de ampliação do Porto da Horta. Relatório 2ª fase, 10 pp.
- Ávila, S.P., Guedes, R. & Porteiro, F., 2010b. Segunda monitorização da qualidade ambiental durante a fase de execução da obra de ampliação do Porto da Horta. Relatório 2ª fase, 15 pp.
- Baptista, L., Santos, A.M., Melo, C.S., Rebelo, A.C., Madeira, P., Cordeiro, R., Botelho, A.Z., Hipólito, A., Pombo, J., Voelker, A.H.L., & Ávila, S.P., 2021a. Untangling the origin of the newcomer *Phorcus sauciatu*s (Mollusca: Gastropoda) in a remote Atlantic archipelago. *Mar Biol* 168, 9 . <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03808-5>
- Baptista, L., Meimberg, H., Ávila, S.P., Santos, A.M. & Curto, M., 2021b. Dispersal ability, habitat characteristics, and sea-surface circulation shape population structure of *Cingula trifasciata* (Gastropoda: Rissoidae) in the remote Azores Archipelago. *BMC Ecol Evo* 21, 128. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01862-1>
- Caballero-Herrera, J.A.C., Hoffman, L., Freiwald, A. & Gofas, S., 2023. The dispersal capacity of Mollusca—a test on the South Azorean Seamount Chain. *Mar. Biodivers.* 53, 59. <https://doi.org/10.1007/s12526-023-01366-9>
- Cacabelos, E., Cordeiro, R., Sánchez, R., Busquier, L., Mosquera, R., Neto, A.I. & Ávila, S.P., 2018. Short note - First record of *Eatonina fulgida* (Mollusca: Gastropoda) in the Azores Archipelago (NE Atlantic Ocean). *Cahiers de Biologie Marine*, 59: 623–627.
- Campos, R.M., Bernardino, M., Gonçalves, M., & Guedes Soares, C., 2022. Assessment of metocean forecasts for Hurricane Lorenzo in the Azores Archipelago. *Ocean Engineering*, 243, 110292.
- Clarke, K. R., 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117–143.
- Cordeiro, R., Borges, J.P., Martins, A.M.F. & Ávila, S.P., 2015. Checklist of the littoral gastropods (Mollusca Gastropoda) from the Archipelago of the Azores (NE Atlantic). *Biodiversity Journal*, 6(4): 855–900.
- Delongueville, C., Scaillet, R. & Swinnen, F., 2019. New records of marine littoral *Gastropoda* and *Bivalvia* in the Azores Archipelago (Northeast Atlantic Ocean). *Novapex* 20:35–43.

Kenkel, N. C. & Orloci, L., 1986. Applying Metric and Nonmetric Multidimensional Scaling to Ecological Studies: Some New Results. *Ecology*, 67: 919–928.

Melo, C.S., Martín-González, E., da Silva, C.M., Galindo, I., González-Rodríguez, A., Baptista, L., Rebelo, A.C., Madeira, P., Voelker, A.H.L., Johnson, M.E., Arruda, S.A. & Ávila, S.P., 2022. Range expansion of tropical shallow-water marine molluscs in the NE Atlantic during the last interglacial (MIS 5e): causes, consequences and utility of ecostratigraphic indicators for the Macaronesian archipelagos. *Quat. Sci. Rev.*, 278, Article 107377, [10.1016/j.quascirev.2022.107377](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107377)

Ponder, W. F. & Lindberg, D. R., 2020. *Biology and Evolution of the Mollusca*, Edition (Volume 1), p. 900. CRC Press, Boca Raton

Quartau, R., Tempera, F., Mitchell, N.C., Pinheiro, L.M., Duarte, H., Brito, P.O., Bates, C.R., & Monteiro, J.H., 2012, Morphology of Faial Island's shelf: the interplay between volcanic, erosional, depositional and mass-wasting processes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13: Q04012.

Quartau R, Moreira S (2018) MISSÃO PLATMAR 2/2018: RELATÓRIO DE CAMPO. REL PT GM 06/18. Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. 20 pp.

Ramalho, R.S., Helffrich, G., Madeira, J., Cosca, M., Thomas, C., Quartau, R., Hipólito, A., Rovere, A., Hearty, P.J. & Ávila, S.P., 2017. Emergence and evolution of Santa Maria Island (Azores) - The conundrum of uplifted islands revisited. *Bull. Geol. Soc. Am.* 129, 372–391. <https://doi.org/10.1130/B31538.1>

Ricchi, A., Quartau, R., Ramalho, R.S., Romagnolia, C., Casalbore, D., & da Cruz, J.V., 2018. Marine terrace development on reefless volcanic islands: new insights from high-resolution marine geophysical data offshore Santa Maria Island (Azores Archipelago). *Marine Geology*, 406: 42–56.

Ricchi, A., Quartau, R., Ramalho, R.S., Romagnolia, C., Casalbore, D., & Zhao, Z., 2020. Imprints of volcanic, erosional, depositional, tectonic and mass-wasting processes in the morphology of Santa Maria insular shelf (Azores). *Marine Geology*, 424: 106163.

Rosenberg, G., 2014. A new critical estimate of named species-level diversity of the recent Mollusca. *Am. Malacol. Bull.* 32 (2), 308–322.

Shantharam A.K., Baco A.R., 2020. Biogeographic and bathymetric patterns of benthic molluscs in the Gulf of Mexico, Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, Volume 155, 103167, ISSN 0967-0637, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103167>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063719303139>)

Vinther, J., 2015. The origins of molluscs. *Palaeontology* 58 (1), 19–34.

Zhao, Z., Mitchell, N.C., Quartau, R., Tempera, F., & Bricheno, L., 2019. Submarine platform development by erosion of a Surtseyan cone at Capelinhos, Faial Island, Azores: Earth

Surface Processes and Landforms, 44: 2982–3006.

Zhao, Z., Mitchell, N.C., Quartau, R., Moreira, S., Rusu, L., Melo, C.S., Ávila, S.P., Das, D., Afonso, P., Pombo, J., Duarte, J., & Rodrigues, A., 2022, Wave-influenced deposition of carbonate-rich sediment on the insular shelf of Santa Maria Island, Azores. *Sedimentology*, 69: 1547–1572.