

Reconstrução paleoambiental com base em fósseis de Cladocera nos sedimentos da Lagoa do Caveiro (Ilha do Pico, Açores)

Dissertação de Mestrado

Joana Vilaverde

Mestrado em

Biodiversidade e Biotecnologia



Reconstrução paleoambiental com base em fósseis de Cladocera nos sedimentos da Lagoa do Caveiro (Ilha do Pico, Açores).

Dissertação de Mestrado

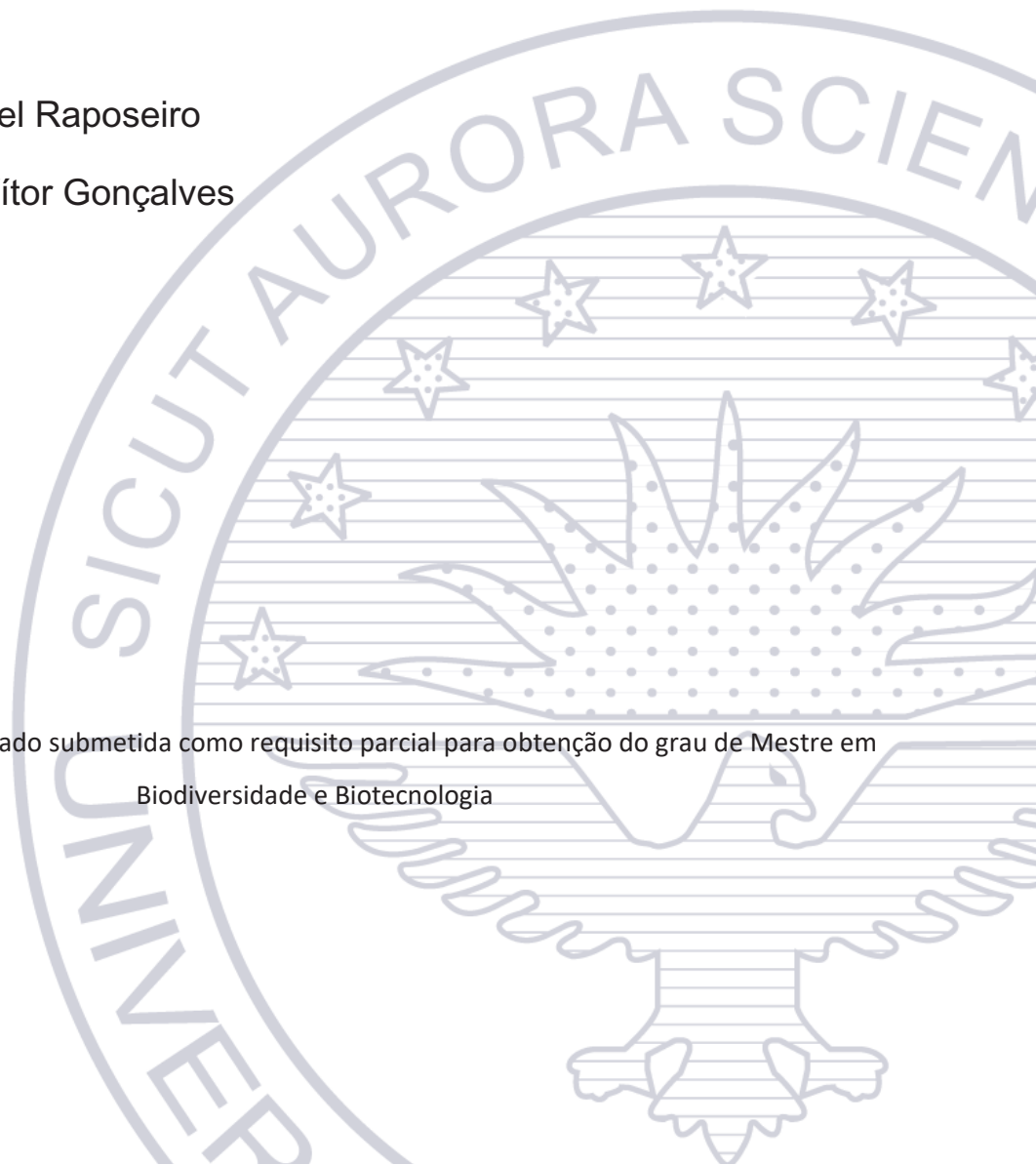
Joana Vilaverde

Orientadores

Doutor Pedro Miguel Raposeiro

Professor Doutor Vítor Gonçalves

Dissertação de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Biodiversidade e Biotecnologia



Aos meus avós,
M^a da Conceição e José Luís

AGRADECIMENTOS

Este mestrado foi um processo por vezes solitário, o microscópio e o tema assim o impuseram. O processo teria sido mais difícil sem o auxílio de várias pessoas, quer directamente neste estudo, quer (principalmente) fora dele. Este espaço é dedicado a elas.

A realização deste trabalho não seria possível sem as amostras recolhidas no projecto internacional RAPIDNAO (CGL2013-40608-R), obrigada a todas as pessoas envolvidas na recolha das amostras.

Aos meus orientadores, Pedro Raposeiro “o nuvem negra” e Vítor Gonçalves “o chefe” obrigada pelo apoio nesta etapa do meu percurso académico. Professor Vítor, obrigada por não me dispensar por eu não querer trabalhar com diatomáceas.

Obrigada a todos os autores de papers e livros de Cladocera com imagens, sem eles nunca conseguiria aprender a identificá-los sozinha, obrigada em específico ao Doutor Miguel Alonso pelo tira-teimas na identificação de algumas espécies.

À ‘Stora’ Fernanda, que me deu Ciências no Liceu de Oeiras, obrigada. Várias vezes me disse “és capaz, não estou a brincar Joana”, estas palavras têm-me acompanhado e muitas vezes me dão alento.

Um muito obrigada à Cátia Lúcio Pereira e à Maria Ana Dionísio pelas correcções e conversas que permitiram levar isto a bom porto. Cátia as tuas correcções com 😊 e palavras de incentivo fizeram a diferença.

Aos colegas da monitorização Ana Escobar, António Feijó, Fábio Rosa, Helena Marques e Rúben Luz os momentos de frustração são sempre mais bem geridos em equipa, obrigada a todos.

Aos meus bichanos, são sem dúvida os seres que mais me fazem feliz. Ambrósio, a tua memória perdurará sempre em mim. Malaka a minha maluca Oeirense, Farpa, Cinza, Fea e Surpresa os meus felinos Açorianos, quebram qualquer momento de tristeza e frustração, a vida é tão simples convosco.

Ao João Cláudio, o meu cromo dos computadores, obrigada pelos momentos de

distracção e de debate sobre esta tese, a formatação e o tuga não seriam os mesmos sem ti. Sempre comigo.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família. Aos meus avós M^a da Conceição e José Luís, aos meus pais Ana Paula e António, à Sandra e aos meus irmãos, por acreditarem que era capaz de completar este capítulo. Aos meus avós um eterno obrigada, apesar de não perceberem a distância sabem que estou a fazer pela vida e dão-me todo o seu apoio. À monga da minha mãe, que apesar de não perceber nada de biologia acha graça e apoia tudo, obrigada. Ao meu pai e à Sandra, muito obrigada pelo apoio logístico, sem vocês com certeza esta jornada não seria possível.

ÍNDICE

ÍNDICE	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
Resumo	13
Abstract.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Alterações ambientais	19
1.2. Efeitos climáticos	20
1.3. Impactos antropogénicos	21
1.4. Paleolimnologia.....	22
1.5. Cladocera	23
1.6. Ecologia dos Cladocera	26
1.7. Objectivos	27
2. METODOLOGIA.....	31
2.1. Enquadramento geográfico do local de estudo	31
2.2. Formação do arquipélago	32
2.3. Clima	33
2.4. Lagoa do Caveiro.....	34
2.5. Amostragem.....	35
2.6. Modelo de idade	36
2.7. Tratamento das amostras.....	36
2.8. Identificação.....	37
2.9. Análise de dados	38
3. RESULTADOS.....	41

3.1. Descrição dos fácies	41
3.2. Modelo de idade	42
3.3. Distribuição dos Cladocera no registo sedimentar	43
3.4. Depósitos fósseis	47
3.5. Depósitos sub-fósseis.....	51
3.6. Comunidade de Peixes actual	53
4. DISCUSSÃO.....	57
5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Características morfológicas dos Cladocera, A- vista lateral; B- escudo cefálico; C- carapaça e D- pós-abdómen (Adaptado de Korosi & Smol, 2012).....	25
Figura 1.2. Fósseis de Cladocera: A- <i>Alona intermedia</i> , escudo cefálico e carapaça; B- <i>Alona intermedia</i> , escudo cefálico; C- <i>Alona guttata</i> , pós-abdómen; D- <i>Daphnia pulex</i> group, garra pós-abdominal; E- <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , garra pós-abdominal.	25
Figura 1.3. Nichos ecológicos dos Cladocera (adaptado de Hann, 1989).	27
Figura 2.1. Localização do Arquipélago dos Açores (Fonte: CIGPT, UAç – 2007).....	31
Figura 2.2. Idades das ilhas que compõem o Arquipélago dos Açores (adaptado de Ávila <i>et al.</i> , 2016).	32
Figura 2.3. Lagoa do Caveiro, ilha do Pico, fotografada de Nordeste.	34
Figura 2.4. Lagoa do Caveiro, ilha do Pico, fotografada de Este.	34
Figura 2.5. Secção inicial (topo) do registo sedimentar CVL-1B da Lagoa do Caveiro, ilha do Pico.....	35
Figura 2.6. Tratamento das amostras: A- preparação das amostras para o banho-maria; B- lavagem do sedimento; C- tubo com amostra tratada; D- colocação da sub-amostra na lamela para secagem; E- preparações definitivas após montagem em Entellan®.	37
Figura 3.1. Esquema do registo sedimentar CVL-1B com indicação das fácies.	42
Figura 3.2. Modelo de idade do core CVL-1B.	43
Figura 3.3. Fósseis de Cladocera identificados I: A- <i>Alona intermedia</i> , escudo cefálico e carapaça; B- <i>Alona quadrangularis</i> , garra pós-abdominal; C- <i>Alonella nana</i> , carapaça; D- <i>A. nana</i> , escudo cefálico; E- <i>Chydorus brevilabris-sphaericus</i> , escudo cefálico e carapaça.....	45
Figura 3.4. Fósseis de Cladocera identificados II: F- <i>Daphnia pulex</i> group, garra pós-abdominal; G- <i>Daphnia longispina</i> group, espinho da cauda; H- <i>Paralona pigra</i> ,	

carapaça; I- *Diaphanosoma brachyurum*, garra pós-abdominal; J- *Graptoleberis testudinaria*, carapaça e escudo cefálico..... 46

Figura 3.5. Registo sedimentar das comunidades fósseis, abundâncias relativas dos Cladocera identificados, na lagoa do Caveiro. N2 – Diversidade de Hill; S – riqueza taxonómica; J – equitabilidade; d – dominância. 50

Figura 3.6. Registo sedimentar das comunidades fósseis de Cladocera, abundância das classes de tamanho, da lagoa do Caveiro. 51

Figura 3.7. Registo sedimentar das comunidades sub-fósseis, abundâncias relativas dos *taxa* identificados, na lagoa do Caveiro..... 52

Figura 3.8. Registo sedimentar das comunidades sub-fósseis, abundância das classes de tamanho, da lagoa do Caveiro. 53

Resumo

Foi utilizado neste estudo um registo sedimentar datado do Holoceno para reconstruir a variabilidade climática passada. Registos paleolimnológicos das peças de Cladocera foram utilizados para a reconstrução climática e ambiental da lagoa do Caveiro, ilha do Pico. Os Cladocera ocupam um nível trófico intermédio nas cadeias alimentares aquáticas, respondem quer a alterações *bottom-up* (alterações nos produtores primários) quer a alterações *top-down* (alterações na predação). Várias espécies de Cladocera têm óptimos ambientais e respondem a alterações no clima. Os resultados foram divididos em comunidade sub-fóssil e comunidade fóssil. As comunidades fósseis foram caracterizadas em cinco fases, as primeiras quatro fases indicam que a evolução da lagoa teve influências naturais, como erupções vulcânicas, alterações climáticas e desabamentos. Enquanto a quinta fase foi maioritariamente influenciada por pressões antropogénicas (e.g. desflorestação, introdução de espécies invasoras). Nos últimos anos a riqueza taxonómica da lagoa diminuiu, com proliferação de espécies bentónicas e reduzida abundância de espécies planctónicas. As projecções climáticas para os Açores, supõem um aumento de eventos de precipitação severos no Inverno e aumento dos períodos de aridez no Verão, que poderão acelerar o assoreamento da lagoa do Caveiro. No futuro, espera-se que a lagoa continue a registar valores de riqueza taxonómica baixos e dominância de espécies bentónicas.

Abstract

In this study we used a sedimentary record of the Holocene to reconstruct the past climate variability. Paleolimnological records of Cladocera remains were used for the climatic and environmental reconstruction of Caveiro lake, in Pico island. Cladocera occupy an intermediate trophic level in aquatic food webs, they respond to bottom-up (changes in primary producers) and top-down (changes in predation) changes of food web. Various species of Cladocera have environmental optimums and respond to changes in the climate. The results were divided in sub-fossil and fossil communities. The fossil communities were characterized in five phases, the first four phases indicate natural influence in the evolution of the lake, such as volcanic eruptions, climate change and landslides. While the fifth phase, was mostly influenced by anthropogenic pressures (e.g. deforestation, invasive species introduction). In the last years taxonomic richness in the lagoon decreased, with proliferation of benthic species and reduced abundance of planktonic species. The climatic projections for the Azores, suggest an increase in severe precipitation events in winter and dry periods in summer, which could accelerate the silting of Caveiro lake. In the future, the lake is expected to continue to register low taxonomic richness values and dominance of benthic species.



INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Alterações ambientais

Actualmente, os ecossistemas mundiais enfrentam uma ameaça severa que dá pelo nome de alterações ambientais. Vários estudos demonstraram a sensibilidade dos lagos ao clima, à eutrofização, introdução de peixes e colonização humana (e.g., Bjerring *et al.*, 2009; Buchaca *et al.*, 2011; Connor *et al.*, 2012). Outros estudos (e.g. Moore *et al.*, 1996; Blanck & Lammourox 2007; Jeppesen *et al.*, 2010) focaram-se no efeito da temperatura, nomeadamente no facto de temperaturas elevadas serem associadas a alterações nas comunidades aquáticas, e.g. indivíduos de tamanhos mais pequenos e maiores densidades. Os lagos incorporam as alterações ambientais na paisagem e atmosfera envolventes (Carpenter *et al.*, 2007;), na ausência de dados de monitorização, os sedimentos lacustres podem ser usados para reconstruir alterações limnológicas (Smol, 2008)

Estudos efectuados em ecossistemas específicos, como os dos lagos, proporcionaram os primeiros indícios dos efeitos das alterações climáticas na estrutura e função dos ecossistemas (Schindler *et al.*, 1996; Magnuson *et al.*, 2000; Verburg *et al.*, 2003), tal como as consequências para os serviços de ecossistema (O'Reilly *et al.*, 2003). Embora o enriquecimento de nutrientes continue a ser um dos principais problemas para muitos lagos temperados (Anderson *et al.*, 2012), as alterações climáticas começam a ocupar um lugar de destaque emergindo como factor crucial na dinâmica ecológica dos lagos (Kernan *et al.*, 2010).

Os Açores são um arquipélago remoto de ilhas oceânicas, reunindo assim condições ideais para estudos de ecologia. As lagoas neste tipo de ilhas são importantes para estudos como: uso dos solos, introdução de peixes, alterações antropogénicas e climáticas. Uma vez que estes habitats remotos têm baixa riqueza específica e experimentaram alterações climáticas moderadas devido ao tamponamento do mar (Buchaca *et al.*, 2011).

Os Cladocera ocupam um nível trófico intermédio nas cadeias alimentares aquáticas. Assim, respondem quer a alterações *bottom-up* (alterações nos produtores primários) quer a alterações *top-down* (alterações na predação) da cadeia alimentar (Labaj *et al.*, 2007). Vários estudos (e.g. Lotter *et al.*, 1997; Bos & Cumming, 2003; Nevalainen *et al.*, 2013) demonstraram que vários Cladocera têm óptimos ambientais e respondem a alterações no clima.

1.2. Efeitos climáticos

O Holoceno é o período geológico mais recente e começou com o recuar das calotes de gelo continentais no final da última glaciação (cerca de 10.000 anos BP). Rambu *et al.* (2004) demonstrou que o Holoceno foi marcado por padrões de variação climática coerentes. O início do Holoceno (11550-9500 anos BP) caracterizou-se por um aquecimento rápido e aumento de humidade, seguido do Holoceno médio (9500-5000 anos BP) onde se registou o pico de aquecimento, também denominado Ótimo Climático do Holoceno. No Holoceno tardio (5000-0 anos BP) regista-se um arrefecimento em relação ao período anterior e ocorre o início da deterioração climática (Andresen & Björck, 2005) O impacto do clima nos ecossistemas tem recebido cada vez mais atenção devido ao rápido aumento do aquecimento global (IPCC, 2007).

As alterações climáticas podem afectar a comunidade de Cladocera, através da sua influência nos processos biológicos (Moore *et al.*, 1996; Gillooly & Dodson, 2000) e pelas respostas espécie-específicas a essas alterações. Por exemplo, favorecimento de espécies de Cladocera mais pequenos, que são herbívoros menos eficazes, pode indirectamente ter um efeito cascata *top-down* na cadeia trófica, reduzindo a pressão da predação ao fitoplâncton, resultando num aumento da biomassa de fitoplâncton (Persson & Hansson, 1999).

1.3. Impactos antropogénicos

As ilhas oceânicas são consideradas excelentes laboratórios naturais para se estudar temas de ecologia e evolução (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). Vários estudos como Hooker (1867); Berry (1992); Whittaker *et al.* (2008) e Carine & Schaefer (2010) reconhecem a importância dos biotas de ilhas. Os Açores têm uma cadeia alimentar e diversidade de espécies simples como é típico em sistemas de ilhas remotas (Green, 1992). Os biotas de ilhas e as suas comunidades são resultado da interacção contínua de padrões ecológicos e evolucionários em escalas espaciais e temporais (Whittaker *et al.*, 2008). O aspecto a reter da ecologia de ilhas é o agrupamento das suas comunidades ecológicas e como se alteram ao longo do tempo sob a influência da variação ecológica (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007).

No último milénio, a colonização humana de ilhas oceânicas tornou-se um factor ecológico primordial que provocou alterações profundas no funcionamento e composição ecológica dos biotas e dos ecossistemas insulares, através da introdução de elementos exóticos, extinção de espécies autóctones e substituição das comunidades originais (Rull *et al.*, 2017).

Ao longo dos últimos séculos o crescimento da população humana e a intensificação da agricultura causaram um excesso de entrada de nutrientes em muitos lagos. Em consequência, muitos lagos sofreram alterações no seu estado trófico, passaram de um estado oligotrófico, de água límpida, dominados por macrófitos (se pouco profundos) com redes tróficas complexas, para um estado de turbidez (eutrófico), dominados por fitoplâncton com redes tróficas simplificadas (Amsinck *et al.*, 2007).

Uma das consequências ecológicas da introdução de peixes é a alteração das interacções da rede alimentar, levando à extinção de algumas espécies locais (Jeppesen *et al.*, 2003; Reissig *et al.*, 2006; Eilers *et al.*, 2007). Os estudos de Blumenshine *et al.* (2000), Knapp *et al.* (2001), Jeppesen *et al.* (2001, 2003a e 2003b) e Attayde & Hansson (2001) permitem inferir que os peixes planctívoros predam selectivamente grandes herbívoros, e que o efeito directo desta predação selectiva

pode alterar a comunidade zooplânctonica. Ao favorecerem zooplâncton de tamanho menor, que são herbívoros menos eficazes do que os de maior tamanho, os peixes zoo-planctívoros podem indirectamente provocar um efeito cascata na cadeia trófica reduzindo a pressão de predação (*grazing*) sobre o fitoplâncton, resultando num aumento da sua biomassa. A introdução de peixes também pode alterar o ciclo de reciclagem de nutrientes e ter um efeito cascata na produção primária e turbidez da água (Carpenter *et al.*, 1985; Miller & Crawl, 2006).

1.4. Paleolimnologia

A paleolimnologia é a ciência que estuda a informação física, química e biológica guardada nos depósitos sedimentares dos lagos. Em muitos casos, os sedimentos dos lagos são considerados os primeiros arquivos deste tipo de informação (Last & Smol, 2001). A disponibilidade de registos históricos e reconstruções através dos sedimentos tem proporcionado uma visão das alterações mais subtis relacionadas com o clima e alterações antropogénicas, e providenciam um melhor entendimento dos mecanismos que dão origem a estas mudanças. Os registos paleolimnológicos têm sido cruciais no desenvolvimento de registos ambientais em escalas geológicas recentes, permitindo a interpretação das alterações climáticas actuais e podendo prever os seus efeitos (Smol, 2008; Leavitt *et al.*, 2009).

A ligação entre o clima e a coluna de água deve ser compreendida para se tirar o máximo potencial dos sedimentos lacustres como registo da variabilidade das alterações climáticas passadas. Alterações no balanço hídrico têm impacto no nível e no tempo de residência das águas nos lagos. Alterações significativas no nível das águas influenciam a estrutura dos habitats marginais, podendo redistribuir sedimentos, alterar a composição iónica e a salinidade da massa de água (Battarbee, 2000).

Um tema central em ecologia lântica tem sido a tentativa de classificação de ecossistemas através dos biotas que suportam (Smol *et al.*, 2001). Organismos planctónicos têm sido largamente utilizados como indicadores de alterações no

ecossistema e como são organismos com ciclos de vida curtos que respondem rapidamente a mudanças térmicas subtis, são também utilizados como indicadores de alterações climáticas (Adrian *et al.*, 2009).

Os sedimentos dos lagos contêm uma vasta variedade de restos orgânicos e não orgânicos que podem ser usados para traçar a história do lago ou da sua bacia hidrográfica. Conchas, armaduras da cabeça, pós-abdómens e garras de Cladocera estão entre os restos de animais mais frequentemente encontrados nos depósitos sedimentares. Estas peças podem desempenhar um papel importante na obtenção de informação sobre vários eventos ambientais e distúrbios que afectam o lago, tais como, alterações climáticas, oscilações tróficas, alterações do nível da água (Smol *et al.*, 2001) e estrutura trófica passada (Johansson *et al.*, 2005).

1.5. Cladocera

A ordem Cladocera, da classe Branchiopoda, é um grupo de crustáceos microscópicos, geralmente com menos de 1 mm. O corpo rico em quitina dos Cladocera permite a sua boa preservação nos sedimentos lacustres e retém as características necessárias para a sua identificação até ao nível de espécie (Milan *et al.*, 2017). Considerada uma ordem cosmopolita, as espécies de Cladocera podem habitar quase todos os habitats de água doce, desde grandes lagos até charcos, na vegetação das margens encontra-se uma maior abundância de espécies (Zawisza & Szeroczyńska, 2007). São uma componente importante da fauna micro-crustácea de água doce, desempenhando vários papéis nos ecossistemas aquáticos, como alimentarem-se de algas, organismos heterotróficos e detritos, reciclarem nutrientes disponibilizando-os aos produtores primários e bactérias, servirem de alimento aos peixes e organismos planctívoros (Smol *et al.*, 2001; Bjerring *et al.*, 2009).

A presença ou ausência de Cladocera em diferentes regiões do mundo pode ser atribuída a factores bióticos, como a competição e predação (Dumont, 1994) mas é atribuída maioritariamente à sua capacidade de dispersão e à sua tolerância a condições ambientais diversas (Smol *et al.*, 2001).

Após a morte, o zooplâncton desarticula-se em várias partes de exosqueleto de quitina (Figura 1.1), como por exemplo carapaças, pós-abdómen, garras, mandíbulas e outras (Figura 1.2) (Rautio *et al.*, 2000). Os fósseis de Cladocera têm sido utilizados frequentemente para reconstruções climáticas e ambientais (*e.g.* Manca *et al.*, 2007; Zawisza & Szeroczyńska, 2007; Nevalainen *et al.*, 2011; Alric *et al.*, 2013). Adicionalmente algumas espécies produzem ovos com uma estrutura espessa quitinosa, capaz de manter os ovos viáveis indeterminadamente, designado *ephippium* (Amsinck *et al.*, 2007). O papel destes organismos no funcionamento geral do ecossistema lacustres faz deles bons indicadores de alterações na estrutura alimentar e nos níveis tróficos (Smol *et al.*, 2001). O estudo de (Gillooly & Dodson, 2000) enfatiza fortemente o papel da temperatura no controlo das dinâmicas das populações de Cladocera em lagos de várias latitudes.

Em muitos casos, investigações paleolimnológicas de Cladocera são baseadas em perfis de sedimentos recolhidos na parte central ou mais profunda da bacia. O depósito de sedimentos no centro do lago pensa-se ser representativo, temporalmente e espacialmente, das comunidades de Cladocera que ali viveram, em diferentes habitats do lago (Korhola & Rautio 2001).

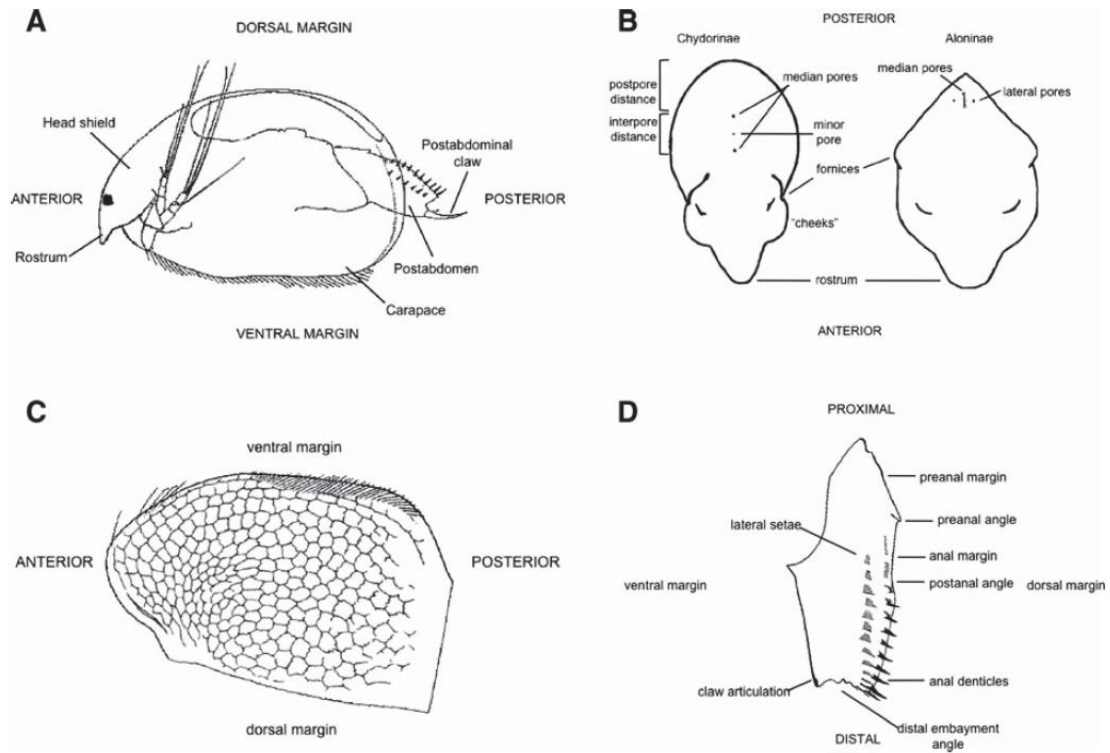


Figura 1.1. Características morfológicas dos Cladocera, A- vista lateral; B- escudo cefálico; C- carapaça e D- pós-abdómen (Adaptado de Korosi & Smol, 2012).

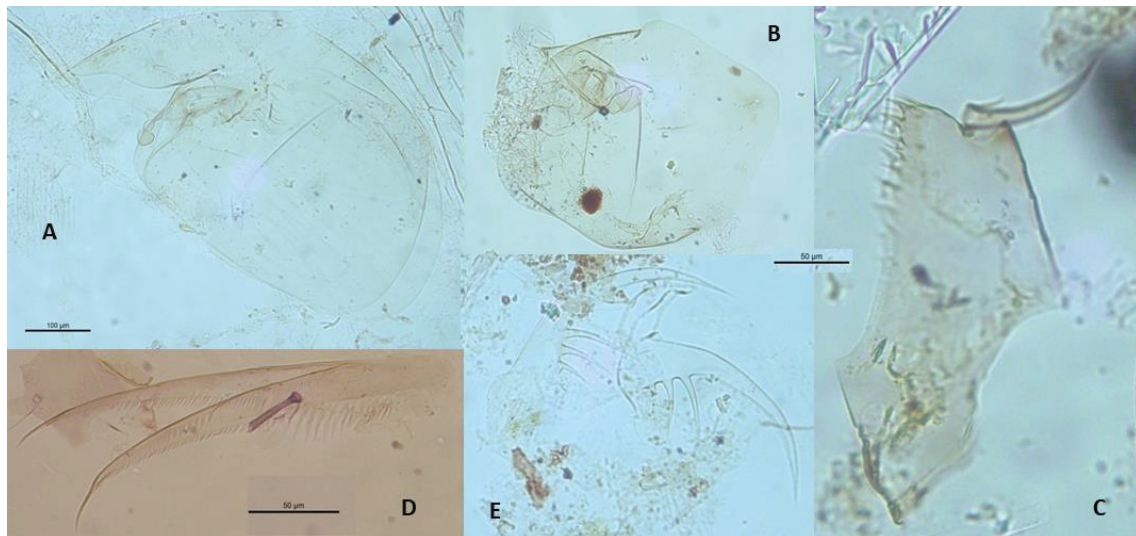


Figura 1.2. Fósseis de Cladocera: A- *Alona intermedia*, escudo cefálico e carapaça; B- *Alona intermedia*, escudo cefálico; C- *Alona guttata*, pós-abdómen; D- *Daphnia pulex* group, garra pós-abdominal; E- *Diaphanosoma brachyurum*, garra pós-abdominal.

1.6. Ecologia dos Cladocera

As espécies pertencentes à Ordem Cladocera não se distribuem ao acaso nos diferentes ambientes, algumas espécies têm grande tolerância ecológica e são capazes de colonizar diferentes tipos de ambientes aquáticos, enquanto outras espécies são mais restritas a condições particulares e a nichos ecológicos estreitos (Carter *et al.*, 1980). Cada comunidade de um lago ou poça contém apenas um número limitado de espécies (Rautio *et al.*, 2000).

Vários estudos (e.g. Watson, 1859; Triantis *et al.*, 2003) identificaram o aumento de área e de habitats como os dois grandes mecanismos de fixação de espécies. Dentro de um lago os Cladocera habitam diversos habitats (Figura 1.3), desde a zona litoral onde predomina a família Chydoridae entre a vegetação, nas pedras, areia e outros substratos, à zona planctónica onde predominam as famílias Daphniidae e Bosminidae (Hann, 1988; Alonso, 1996; Korhola & Rautio, 2001; Jeppesen *et al.*, 2003; Bjerring, 2007). Os Chydoridae são predominantemente bentónicos (Belyaeva & Taylor, 2009), com os géneros *Alona*, *Chydorus* e *Paralona* a distribuírem-se pelos diferentes microhabitats bentónicos (macrófitas, pedras, areia e sedimento fino), enquanto os géneros *Alonella*, *Camptocercus*, *Graptoleberis* e *Pleuroxus* distribuem-se pela zona de macrófitas mais perto do litoral.

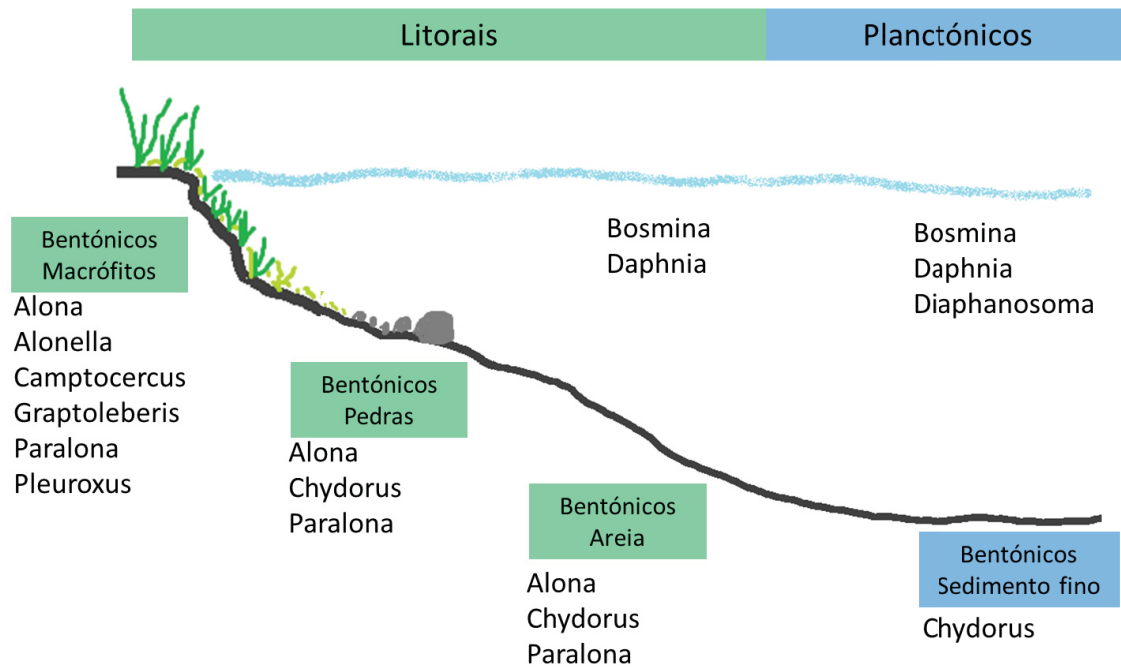
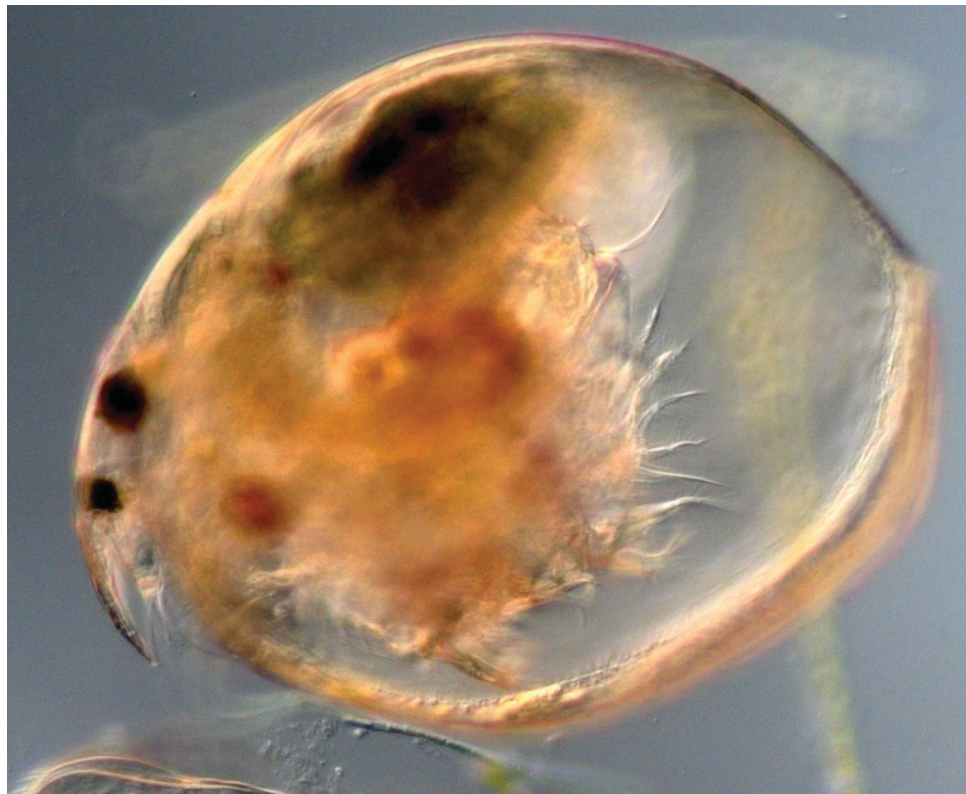


Figura 1.3. Nichos ecológicos dos Cladocera (adaptado de Hann, 1989).

Distinguindo as peças de Cladocera da zona litoral das da zona limnética de um lago, pode ser determinado um rácio planctónico/litorais (P:L). O rácio P:L descreve em parte, as flutuações no nível do lago e alterações na área litoral. A composição da comunidade estudada pode revelar como era o ambiente lacustre no passado (Hann, 1988; Bos *et al.*, 1999; Jeppesen *et al.*, 2001; Gąsiorowski & Hercman, 2005).

1.7. Objectivos

Este trabalho tem como objectivo a reconstrução das condições ambientais dos últimos ca. 6000 anos na lagoa do Caveiro, através da caracterização dos fósseis de Cladocera depositados nos sedimentos da lagoa. A partir da análise da composição específica, abundância das espécies e classes de tamanho de Cladocera pretende-se inferir a variabilidade climática local durante este período e os efeitos das erupções vulcânicas e das alterações antropogénicas na estrutura e funcionamento do ecossistema.



METODOLOGIA

2. METODOLOGIA

2.1. Enquadramento geográfico do local de estudo

O arquipélago dos Açores faz parte da região biogeográfica da Macaronésia (que inclui os arquipélagos da Madeira, Canárias e Cabo Verde) e localiza-se entre os paralelos 36° 45' e 39° 43' de latitude Norte e os meridianos 24° 45' e 31° 17' de longitude Oeste (Figura 2.1). As nove ilhas no seu conjunto perfazem uma área de 2 352 km² e distribuem-se diagonalmente por aproximadamente 66 000 km², com uma orientação marcadamente Noroeste – Sudeste, ao longo de cerca de 600 km de comprimento (Cruz *et al.*, 2006). O arquipélago localiza-se no Oceano Atlântico e abrange nove ilhas vulcânicas, todas com idades inferiores a 6 Ma (Ramalho *et al.*, 2017). Os Açores localizam-se nas proximidades da junção tripla entre as placas Americana, a Oeste, e as placas Africana e Euroasiática, a Este (Cruz & Brito, 2002).

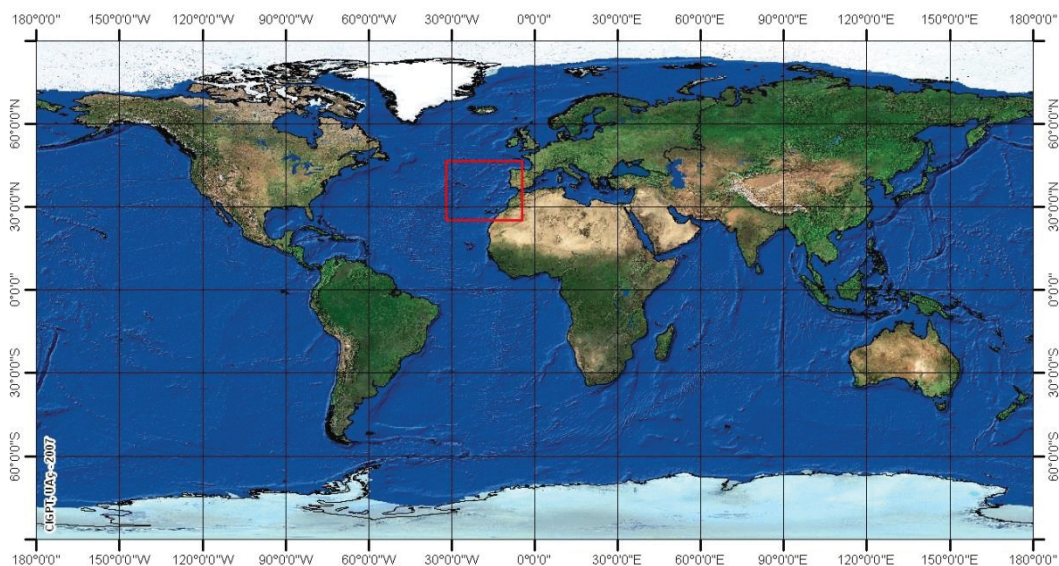


Figura 2.1. Localização do Arquipélago dos Açores (Fonte: CIGPT, UAç – 2007).

2.2. Formação do arquipélago

De acordo com Ávila *et al.*, (2016) os primeiros vulcanismos aéreos na região conduziram à formação da ilha de Santa Maria (6,3 Ma) e São Miguel (4,01 Ma). A ilha das Flores (~2,1 Ma) formou-se depois das ilhas do grupo oriental e é mais antiga do que as do grupo central. O Corvo (~1,5 Ma) parece ter surgido na mesma época das ilhas de São Jorge (~1,32 Ma) e Faial (0,85 Ma) (Figura 2.2).

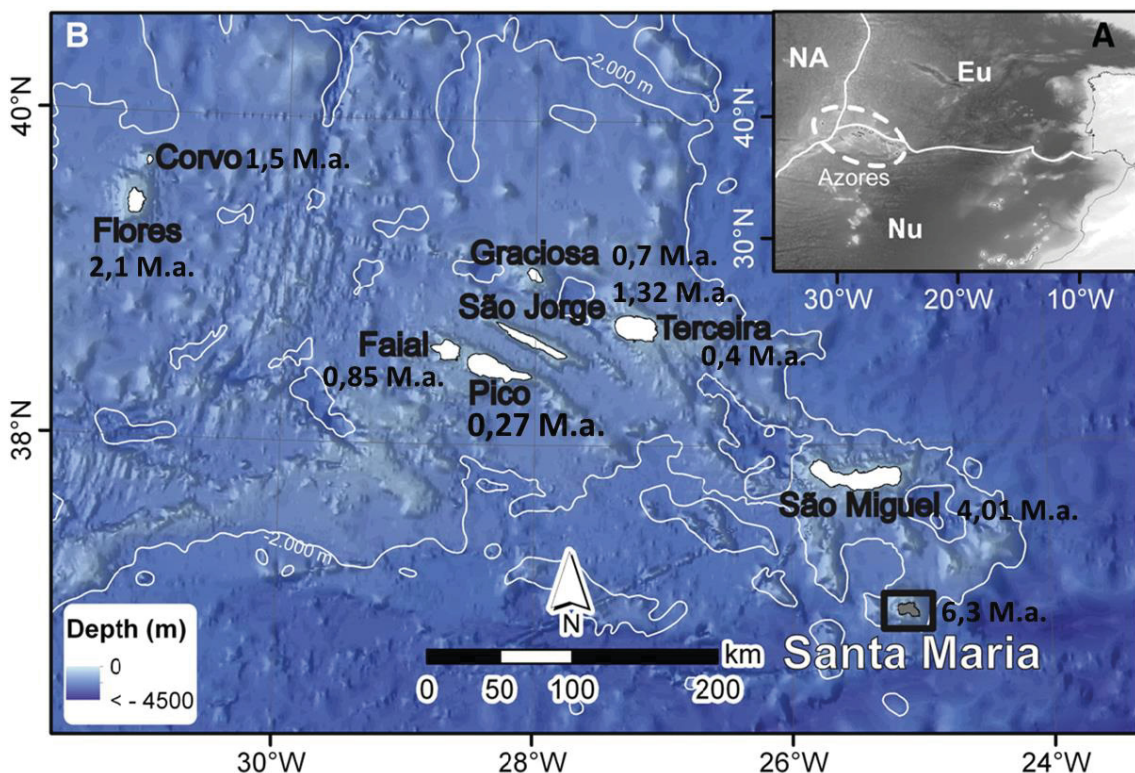


Figura 2.2. Idades das ilhas que compõem o Arquipélago dos Açores (adaptado de Ávila *et al.*, 2016).

A ilha do Pico é a mais nova do Arquipélago, com cerca de 270,000 anos (Demand *et al.*, 1982 *fide* Ávila *et al.*, 2016). A ilha apresenta um alinhamento geral segundo o azimute N108°, possui um comprimento máximo de 46,35 km, entre a Ponta do Areeiro (Madalena) e a Ponta da Ilha (Manhenha). O perímetro da ilha é de cerca de 119 km. Ocupa uma área planificada de 446,4 km² e o seu ponto mais elevado localiza-se no topo do cone do Piquinho (ou Pico Pequeno), a 2351 m (Nunes, 1999). A lagoa do Caveiro (38°26.10'N, 28°11.79'W) situa-se nesta ilha a 903m acima do nível do mar na parte oriental da zona mais estreita da ilha. Localizada numa cratera ao

longo do sistema de cratera e fissura que junta a ponta leste da ilha com a cimeira, apresentando uma paisagem em volta da lagoa rica em crateras vulcânicas. A idade do cone do Cabeço do Caveiro, onde se situa o lago do Caveiro, estima-se em cerca de 50,000 anos (França, 2000) com base em relações geológicas do terreno (Björck *et al.*, 2006).

Nos Açores, o fenómeno de colonização e distúrbio humano foi bastante tardio. Estima-se que os Açores foram descobertos, pelos Portugueses em ca. (AD 1432), mas os primeiros colonizadores só terão chegado ao Pico em ca. (AD 1460), estando as suas actividades concentradas nas áreas costeiras da ilha. Demoraria cerca de um século até toda a ilha estar sobre o efeito das actividades humanas (Björck *et al.*, 2006).

2.3. Clima

No geral, nas bacias hidrográficas dos Açores prevalecem condições de baixa insolação, temperatura reduzida, nevoeiros quase permanentes, precipitação abundante e humidade atmosférica elevada (Porteiro, 2000). À semelhança das restantes ilhas do arquipélago, o clima da ilha do Pico é temperado oceânico e caracteriza-se por temperaturas amenas (com pequenas amplitudes térmicas anuais), precipitação regular ao longo de todo o ano, elevada humidade relativa do ar, céu em geral nublado e frequentes ventos fortes. Dois fenómenos climáticos assumem uma importância acrescida na ilha do Pico, atendendo às altitudes atingidas são os de a queda de neve e presença de nevoeiros persistentes (Nunes, 1999).

No que diz respeito à temperatura, varia regularmente ao longo do ano, sendo em média, a máxima próxima dos 22,0°C e a baixa próxima dos 14,5°C. Em altitude, a temperatura decresce de forma regular, à razão de 0,9°C por cada 100 metros até uma altitude próxima dos 400 metros. A partir daí, a temperatura decresce, à razão média de 0,6°C por cada 100 metros (PGRH Açores, 2014).

2.4. Lagoa do Caveiro

A lagoa do Caveiro é arredondada com um diâmetro de 30-40m e rodeado por declives suaves, considerando-se que é uma lagoa de cratera (Figuras 2.3 e 2.4). Na actualidade o gado de pasto tem um impacto grande na paisagem e a pequena bacia é dominada por gramíneas. A Sul do lago, em zonas com menor presença de pasto, encontram-se pequenas árvores de *Juniperus* spp. e *Erica* spp.. A presença de pequenos troncos de árvore perto do lago demonstra que este tipo de árvores também estaria presente no local antes da recente (cerca de 500 anos) influência humana (Schafer, 2003; Björck *et al.*, 2006). À parte do *Sphagnum* spp., a vegetação de macrófitos é dominada por *Potamogeton polygonifolius* (Björck *et al.*, 2006).



Figura 2.3. Lagoa do Caveiro, ilha do Pico, fotografada de Nordeste.



Figura 2.4. Lagoa do Caveiro, ilha do Pico, fotografada de Este.

2.5. Amostragem

Durante a campanha de amostragem na ilha do Pico do projecto internacional RAPIDNAO (CGL2013-40608-R), realizada em Junho de 2015 foram efectuadas duas perfurações (de seis secções cada) no centro da lagoa do Caveiro, usando um *corer* de pistão (UWITEC - 60mm de diâmetro) operado numa plataforma flutuante UWITEC. Os sedimentos foram fechados e transportados para o laboratório (Universidade de Barcelona) e mantidos numa sala climatizada a 4°C. Todos os sedimentos foram abertos longitudinalmente em duas partes e fotografados com uma câmara de alta resolução (Figura 2.5). Neste estudo utilizou-se o registo sedimentar obtido numa dessas perfurações, designado por CVL-1B que no conjunto das seis secções compreende uma recuperação de 8,09 m de sedimento. As fácies sedimentares foram definidas e caracterizadas por reconhecimento visual e confirmadas por observações microscópicas (esfregaço de sedimento em lâminas). O sedimento foi descrito com base na sua coloração, textura, conteúdo em diatomáceas, cladoceras, esponjas, quironomídeos, composição mineral e processos sedimentares.

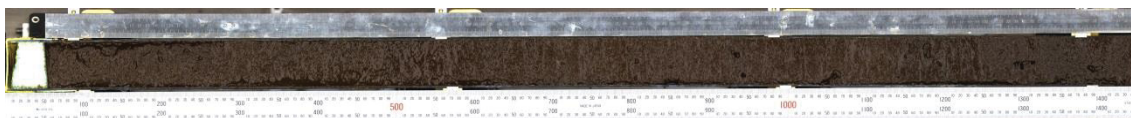


Figura 2.5. Secção inicial (topo) do registo sedimentar CVL-1B da Lagoa do Caveiro, ilha do Pico.

Para a caracterização da massa de água colheram-se amostras de água para análise físico-química e amostras das diversas comunidades biológicas presentes no ano da colheita do sedimento.

A composição piscícola foi determinada segundo a Norma Europeia CEN EN 14757: 2005. A rede foi colocada de uma margem à outra na parte mais comprida da lagoa. A comunidade piscícola foi determinada com uma rede bentónica de malhas múltiplas (6.25, 8, 10, 12.5, 16.5, 22, 25, 30, 33, 38, 43, 50, 60 e 75 mm), colocada ao final da tarde e recolhida de manhã, cerca de 17h30 depois. Os peixes foram

identificados e medidos.

2.6. Modelo de idade

Os sedimentos da Lagoa do Caveiro são uma mistura de camadas ricas em matéria orgânica e tefra. O tempo representado em ambas as camadas difere: enquanto as tefras são consideradas eventos instantâneos (depósitos que sedimentam em poucos minutos ou poucos dias), os sedimentos ricos em matéria orgânica representam períodos de tempo mais longos, que podem variar entre meses, a vários anos. Para diferenciar estas duas camadas, foi analisada na Universidade de Barcelona, a composição química elementar do sedimento por fluorescência de raio-x (XRF). Através desta análise foi possível, identificar as camadas de tefras, sua posição e espessura ao longo do registo sedimentar

Na datação dos sedimentos empregaram-se 2 técnicas: a datação por ^{210}Pb nos sedimentos mais recentes (primeiros 0,40 m) e datação por ^{14}C nos sedimentos mais antigos (de 0,40 a 8,09 m). Uma vez que os resultados analíticos do ^{210}Pb apresentam uma irregularidade que não pode ser explicada unicamente por deposição atmosférica optou-se por construir o modelo de idade de todo o registo sedimentar unicamente com base nas datações por ^{14}C .

Tendo por base várias datações por ^{14}C efectuadas em concentrados de pólen, recolhidos a vários níveis do registo sedimentar, construiu-se o modelo de idade usando a rotina “clam” do software R (Blaauw, 2010), em que as tefras identificadas foram introduzidas, de forma a distribuir correctamente o tempo na sequência sedimentar. O modelo de idade foi construído usando o modelo “cubic spline”.

2.7. Tratamento das amostras

Tendo em conta a extensão do registo sedimentar (8,09 m) e o tempo disponível para análise das amostras optou-se por analisar amostras em intervalos de 10 cm. Entre os centímetros 8 e 50 do registo sedimentar não foram preparadas

amostras por falta de sedimento.

Para análise dos restos de Cladocera (RC) preparou-se uma pequena quantidade de sedimento de cada nível seleccionado, seguindo o método descrito Frey (1986) (Figura 2.6). Cada amostra de sedimento foi pesada e tratada com hidróxido de potássio (KOH) a 10%, a 70°C durante uma hora em banho-maria, com agitação constante. Após o primeiro procedimento, derramou-se a mistura resultante num crivo de 38 µm para ser lavado com água corrente. Após a lavagem, os sedimentos retidos no crivo foram transferidos para tubos de 15ml. Foi acrescentado álcool a 96% para perfazer 15 ml e homogeneizou-se as amostras. De seguida, com uma micropipeta, transferiu-se um volume fixo (85 µm) e desta suspensão para uma lamela. A secagem da subamostra foi efectuada à temperatura ambiente durante, pelo menos 12 horas. Finalmente procedeu-se à montagem das preparações em Entellan®.

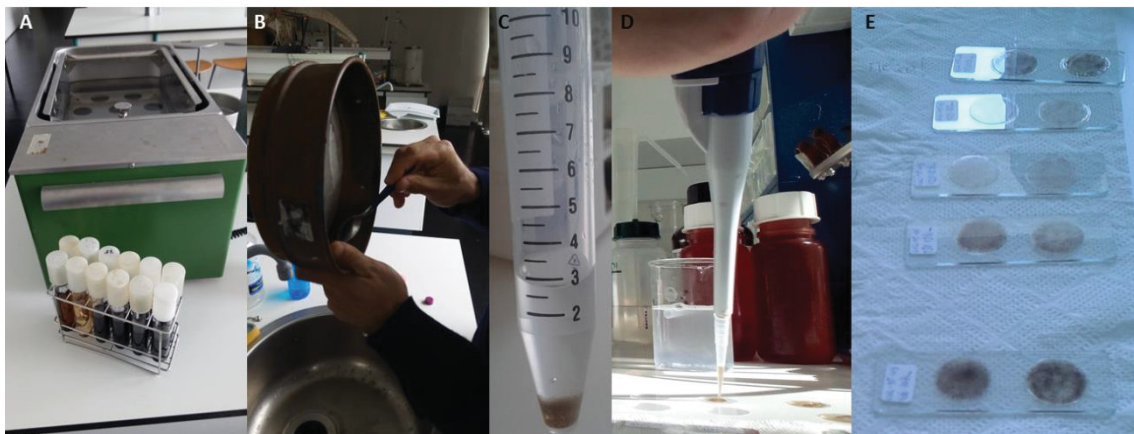


Figura 2.6. Tratamento das amostras: A- preparação das amostras para o banho-maria; B- lavagem do sedimento; C- tubo com amostra tratada; D- colocação da sub-amostra na lamela para secagem; E- preparações definitivas após montagem em Entellan®.

2.8. Identificação

As peças de Cladocera foram identificadas e contadas, ao microscópio com ampliação 200X ou 400X, sempre que possível até atingir pelo menos 300 peças (Manca *et al.*, 2007; Kattel *et al.*, 2009; Kurek *et al.*, 2010). Calculou-se a abundância relativa (%) de cada *taxa*.

A identificação taxonómica foi realizada ao nível da espécie, com recurso a bibliografia especializada (e.g. Alonso, 1996; Szerocynska *et al.*, 2007; Korosi *et al.*, 2012; e Błędzki *et al.*, 2016).

Na análise estatística excluíram-se as amostras correspondentes aos centímetros: 260, 360-380, 490, 730-830 por não conterem qualquer resto de Cladocera.

Os diferentes *taxa* foram agrupados em classes de tamanho segundo Alonso (1996), Korhola & Rautio (2001), Bjerring (2007) e Adamczuk (2014).

2.9. Análise de dados

Em virtude da ausência de resultados entre os 8 e 50 cm do registo sedimentar, optou-se, para efeitos de análise de dados, por separar os resultados dos níveis superficiais (2 a 8 cm), designados por sub-fósseis, dos obtidos para os sedimentos mais profundos (50 a 720 cm), designado por fósseis.

O número de zonas distintas ao longo do registo sedimentar foi determinado usando o programa R (Versão R-3.3.2), com o pacote rioja versão 0.9-9 (Juggins, 2017). Foi realizada uma análise CONISS. Depois de definidas as zonas o perfil estratigráfico foi desenhado com o programa C2 Versão 1.7.7 (Juggins, 2007).



RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Descrição dos fácies

Os sedimentos recolhidos podem ser divididos em cinco unidades intercaladas: duas de origem vulcânica; (1) depósitos grosseiros volcanoclásticos (lapili), composto por cinzas escuras e pobre em matéria orgânica e (2) depósitos de cinzas finas avermelhadas, ricas em diatomáceas e matéria inorgânica; três de origem lacustre; (3) sedimento lacustre mole de cor acastanhada, rico em diatomáceas e cladoceras, (4) sedimento lacustre compacto de cor escura, rico em diatomáceas, cladoceras, espículas de esponjas, quironomídeos e (5) sedimento compacto de cor acastanhada, rico em raízes, pobre em diatomáceas, ausência de cladóceros, quironomídeos e espículas de esponjas.

Os sedimentos de origem vulcânica intercalam com os sedimentos de origem lacustre (Figura 3.1), sendo que a parte mais profunda apresenta um elevado número de sedimentos de origem vulcânica.

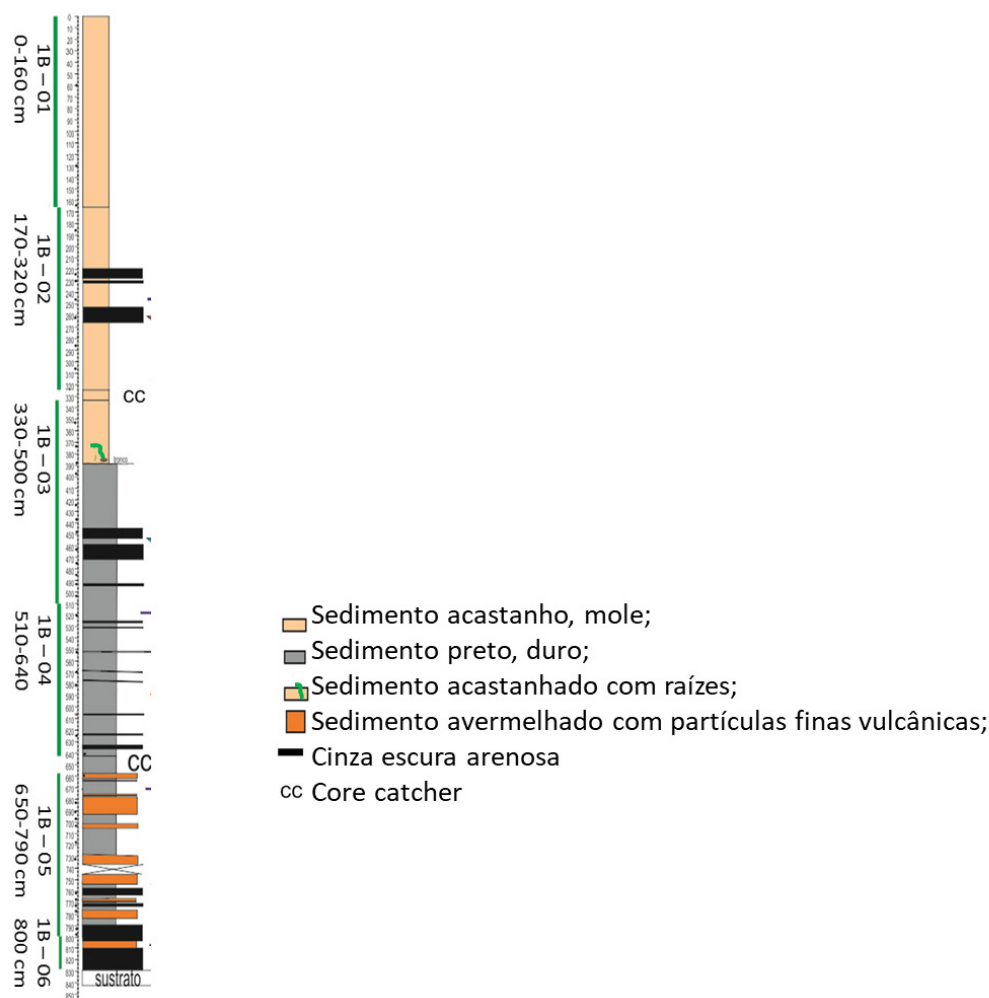


Figura 3.1. Esquema do registo sedimentar CVL-1B com indicação das fácies.

3.2. Modelo de idade

As nove datações de AMS ^{14}C do core CVL-1B são coerentes ao longo do registo sedimentar e não apresentam inversões. Desta forma, todas as datações foram incluídas na construção do modelo de idade (Figura 3.2). A data mais antiga (8201 ± 30 cal BP anos calibrados antes do presente, 809 cm) encontra-se situada entre duas erupções vulcânicas. O modelo de idade foi construído retirando os momentos instantâneos (ver metodologia), sendo que a bandas cinzentas presentes na figura 3.2 representam esses eventos. Assim e de acordo com o modelo de idade, o core CVL-1B abrange idades compreendidas entre a actualidade e 8201 cal BP.

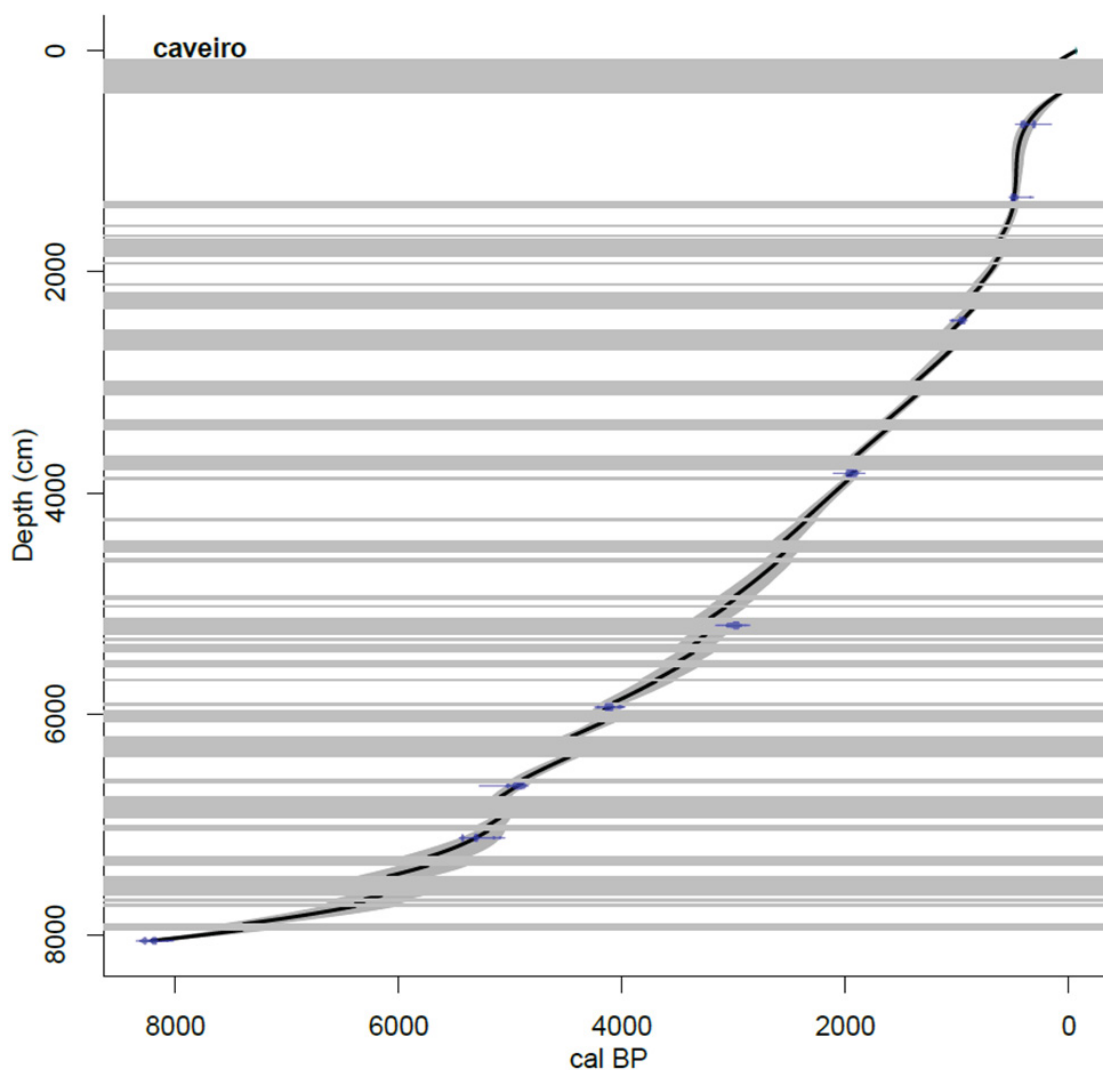


Figura 3.2. Modelo de idade do core CVL-1B.

3.3. Distribuição dos Cladocera no registo sedimentar

Ao longo do registo sedimentar, foram encontrados restos de Cladocera em 69 das 80 amostras analisadas, tendo-se verificado uma distribuição diferenciada, tanto em termos qualitativos como quantitativos. O maior valor de abundância de Cladocera foi observado no nível 710 cm, com 4 085 081 RC.g⁻¹ de sedimento fresco. Pelo contrário, nos centímetros 260, 360 a 380, 490 e 730 a 800 cm não se encontraram quaisquer restos de Cladocera.

Foram identificados 19 *taxa* (Figuras 3.3 e 3.4), distribuídos por 4 famílias. Os

Chydoridae apresentaram maior riqueza taxonómica (15 *taxa*), seguidos dos Daphniidae (2 *taxa*), Bosminidae e Sididae (1 *taxon* cada). Dos 19 *taxa* identificados, 15 são litorais e os restantes 4 planctónicos. As espécies mais frequentes foram *Chydorus brevilabris-sphaericus*, observada em 99% das amostras, *Alona intermedia* em 97% e *Paralona pigra* em 93%. Para além de apresentarem maior riqueza específica, as espécies litorais foram também dominantes em termos de abundância dos RC, em relação às planctónicas (Anexo I).

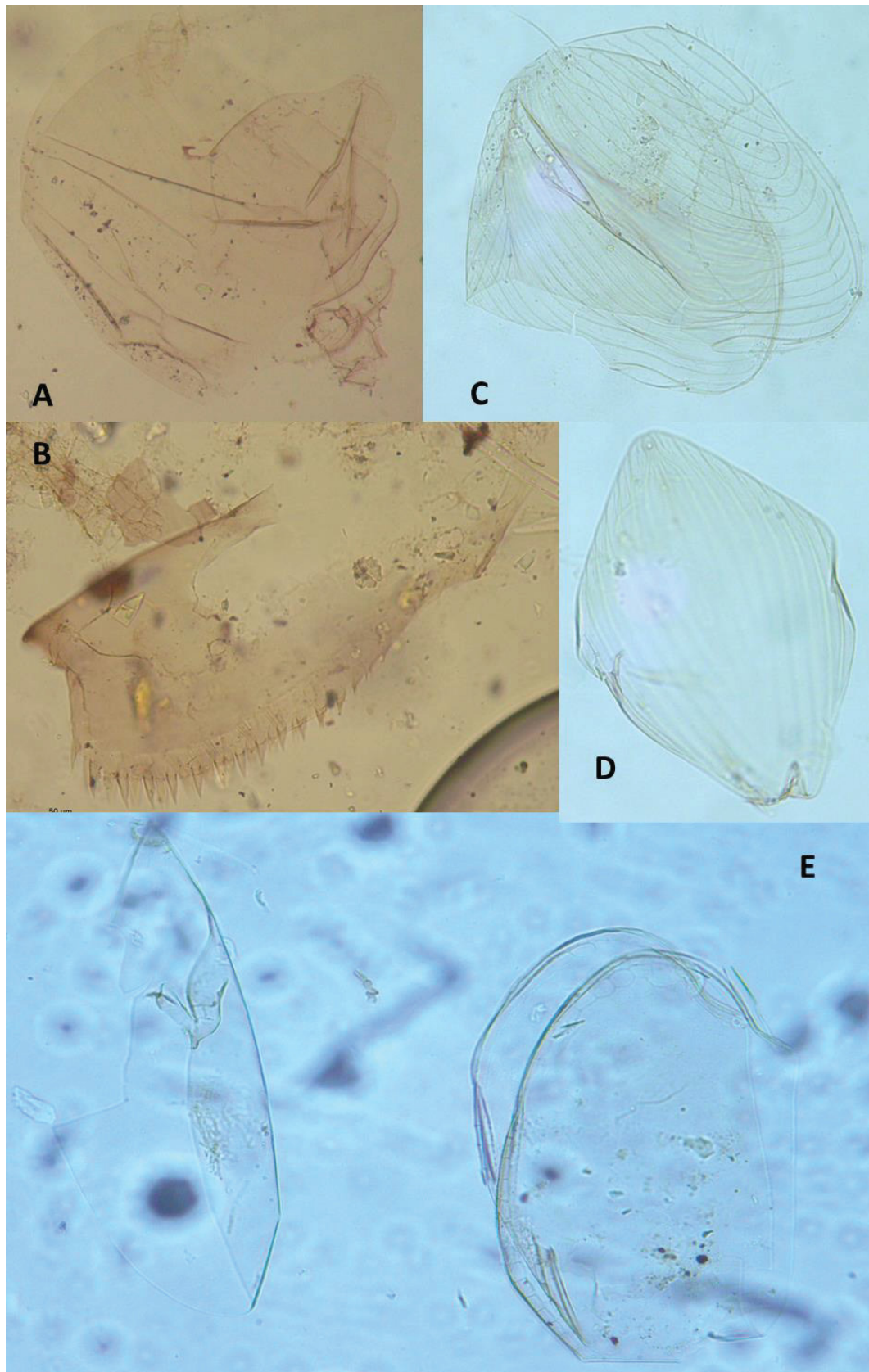


Figura 3.3. Fósseis de Cladocera identificados I: A- *Alona intermedia*, escudo cefálico e carapaça; B- *Alona quadrangularis*, garra pós-abdominal; C- *Alonella nana*, carapaça; D- *A. nana*, escudo cefálico; E- *Chydorus brevilabris-sphaericus*, escudo cefálico e carapaça.

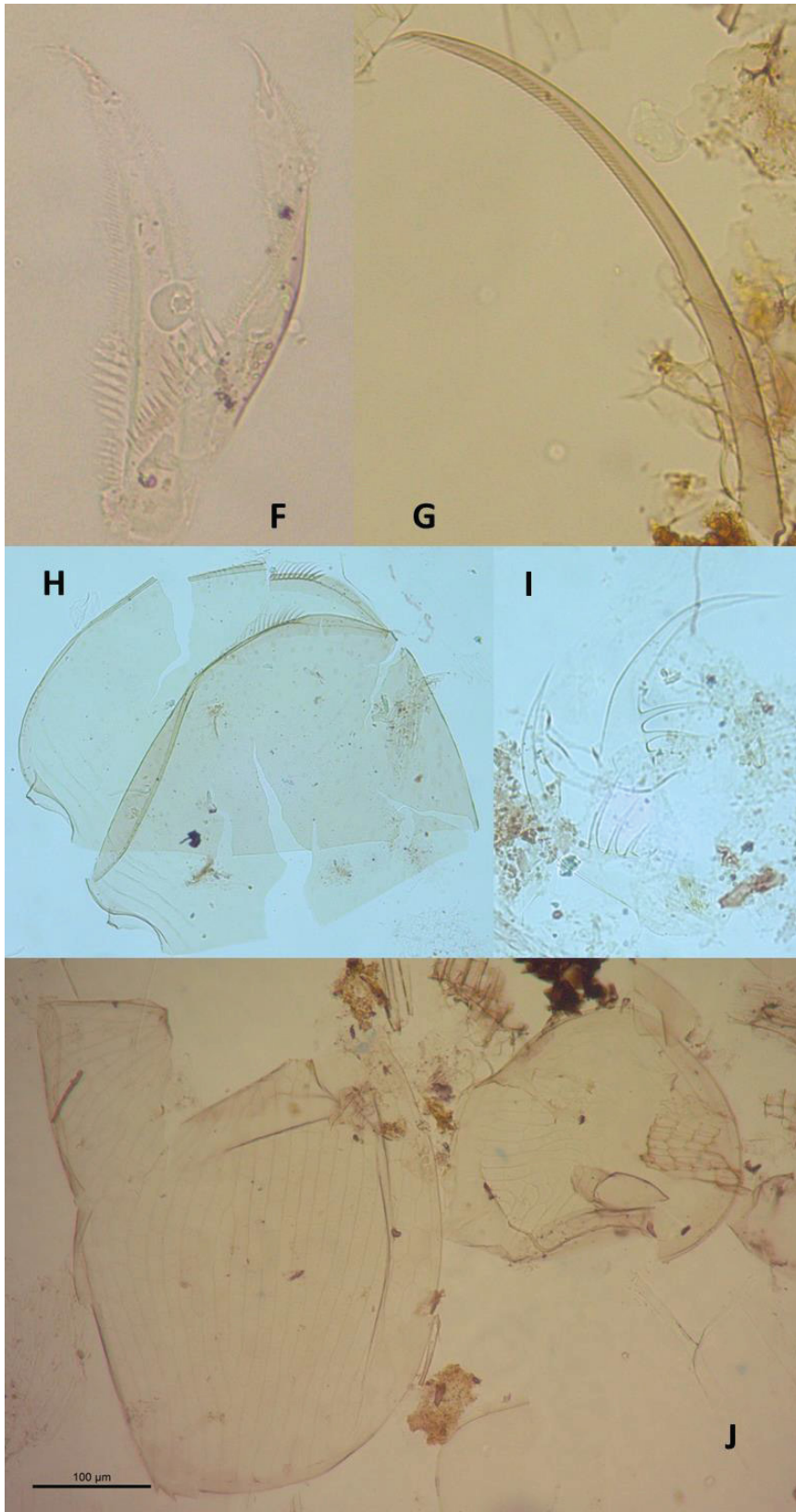


Figura 3.4. Fósseis de Cladocera identificados II: F- *Daphnia pulex* group, garra pós-abdominal; G- *Daphnia longispina* group, espinho da cauda; H- *Paralona pigra*, carapaça; I- *Diaphanosoma brachyurum*, garra pós-abdominal; J- *Graptoleberis testudinaria*, carapaça e escudo cefálico.

3.4. Depósitos fósseis

Nos níveis inferiores do registo sedimentar, entre os 830 e 730 cm não se observaram RC, sugerindo que possivelmente ainda não haveria lagoa neste período. Os primeiros fósseis de Cladocera foram observados a partir do nível 720 cm (5475 anos BP), devendo este nível corresponder ao início da formação da lagoa do Caveiro.

A partir do nível 720 cm do perfil sedimentar identificam-se cinco zonas com composição e abundância de fósseis de Cladocera significativamente distintas, de acordo com os resultados da análise CONISS.

Zona 1 (dos 720 aos 700 cm): 5475 aos 5184 anos BP

O registo sedimentar do nível 720 a 700 cm apresenta, a maior abundância de restos de Cladocera, apresentando um valor médio 175.156 ± 115.349 RC.g⁻¹SF, a menor riqueza específica ($S = 6,0 \pm 1,7$) e menor diversidade de Hill ($N2 = 1,77 \pm 0,35$) das zonas identificadas (Figura 3.5). A baixa equitabilidade observada ($J' = 0,43 \pm 0,04$) deve-se à dominância de dois *taxa*, *A. intermedia* e *C. brevilabris-sphaericus*, associados a macrófitos-sedimento, de tamanho intermédio 0,3-0,5 mm (Figura 3.6).

Zona 2 (dos 700 aos 505 cm): 5184 aos 3041 anos BP

Nesta zona verifica-se um aumento da riqueza específica ($S = 11,05 \pm 2,44$) em relação ao período anterior, com aparecimento de vários *taxa*, tais como: *Alona guttata*, *A. rustica*, *P. pigra*, *Graptoleberis testudinaria* e *Daphnia* spp. Observou-se ainda um aumento na diversidade de Hill ($N2 = 4,87 \pm 1,18$) e no índice de equitabilidade ($J' = 0,75 \pm 0,07$). De salientar a presença de dois picos de elevada densidade de RC no início da zona, seguido de um gradual decréscimo até ao final deste período. Relativamente aos grupos ecológicos relacionados com o tipo de habitat, nesta zona verifica-se um aumento de *taxa* pelágicos como *Daphnia longispina* group, *D. pulex* group e *Diaphanosoma brachyurum* e de *taxa* associados a macrófitos como *P. pigra* e *G. testudinária* (Figura 3.5). Perto do final desta zona, registou-se um

aumento de ephippia de *Daphnia* spp., que parecem indicar a ocorrência de um período de maior instabilidade ambiental.

Aproximadamente a meio desta zona 600 cm (4165 anos BP) surgem dois novos taxa (*Alona costata* e *Pleuroxus laevis*) após uma erupção localizada no nível 600 cm. Nesta zona predominam os Cladocera pertencentes às classes de tamanho intermédio 0,3 a 0,5 mm e 0,5 a 0,8 mm (Figura 3.6), o que corresponde a um ligeiro aumento do tamanho médio dos Cladocera que se fica a dever, fundamentalmente, ao aumento de abundância de *G. testudinaria*.

Zona 3 (dos 505 aos 340 cm): 3041 aos 1629 anos BP

O registo sedimentar nesta fase regista uma ligeira diminuição de riqueza específica ($S = 9,25 \pm 4,75$) em relação ao período que o antecede. Esta tendência não se verifica com a diversidade de Hill ($N2 = 5,49 \pm 2,33$), nem na equitabilidade ($J' = 0,88 \pm 0,06$), cujos valores aumentam quando comparados com os observados no período anterior (Figura 3.5). A tendência de diminuição da abundância total de RC do período anterior mantém-se ao longo desta zona, atingindo o valor mais baixo de todo o registo sedimentar perto do final da zona, aos 350 cm.

Este período é caracterizado por grandes variações nas abundâncias das espécies, que poderão estar associadas às várias erupções vulcânicas registadas neste período 470-460 e 455-445 cm. *Daphnia longispina* group desaparece do registo sedimentar aos 510 cm e *Bosmina longirostris* aparece aos 420 cm. Entre os centímetros 390 aos 350, não se observaram fósseis de Cladocera e logo após este intervalo surge um aumento da abundância de ephippia de *Daphnia* spp. Perto do final da zona verifica-se um aumento na abundância de pelágicos e uma diminuição dos taxa associados a macrófitos-sedimentos. Em comparação com a zona anterior observou-se um aumento das classes de tamanhos superiores a 1 mm e 0,8 a 1 mm em detrimento da classe 0,5 a 0,8 mm. De notar, o aparecimento de um taxon da classe de menor tamanho a 0,3 mm, *Alonella nana* no final da zona.

Zona 4 (dos 340 aos 160 cm): 1629 aos 563 anos BP

Esta região do sedimento regista uma riqueza taxonómica superior à do período anterior ($S = 12,53 \pm 2,03$), com o aparecimento de novas espécies indicadoras de presença de macrófitos, tais como *Camptocercus sp.* e *Pleuroxus laevis*. Consequentemente, regista-se um aumento da diversidade de Hill ($N2 = 6,8 \pm 1,5$) em relação à zona anterior, mas uma equitabilidade semelhante ($J' = 0,83 \pm 0,08$). A abundância de RC é ligeiramente superior à da zona anterior, observando-se dois picos aos 300 e 170 cm (Figura 3.5). No nível compreendido entre 250-260 cm, verificou-se a presença de cinzas vulcânicas e consequentemente ausência de elementos lacustres. Nesta fase, os taxa associados a zonas bentónicas-macrófitas como *A. intermedia* e *P. pigra*, pertencentes à classe de tamanho 0,5-0,8 mm dominaram, seguidos da espécie planctónica *D. brachyurum* da classe 0,8 -1,0 mm. A partir do centímetro 170 verifica-se um aumento da abundância relativa de *A. nana*, representando mais de metade da abundância dos 160 aos 140 cm e alternando entre 32 a 45 % no restante registo sedimentar desta zona.

Zona 5 (dos 160 aos 50 cm): 1629 aos 232 anos BP

Este período é caracterizado por uma mudança abrupta na estrutura da comunidade, onde dominam pela primeira vez na história da lagoa, os taxa de pequena dimensão, associados a macrófitos, tais como *A. nana*, *A. gutata* e *Pleuroxus sp.* Observou-se uma diminuição da equitabilidade ($J' = 0,73 \pm 0,08$), reflectindo a dominância dos taxa anteriores. Verifica-se pela primeira vez o aparecimento de *Alona affinis* e *Alonella excisa* e o desaparecimento de *Chydorus gibbus*. Registou-se a presença de três das quatro espécies planctónicas identificadas neste estudo, mas com tendência a desaparecerem até ao final da zona, reflectida pela ausência de *ephippia* de *Daphnia spp.*

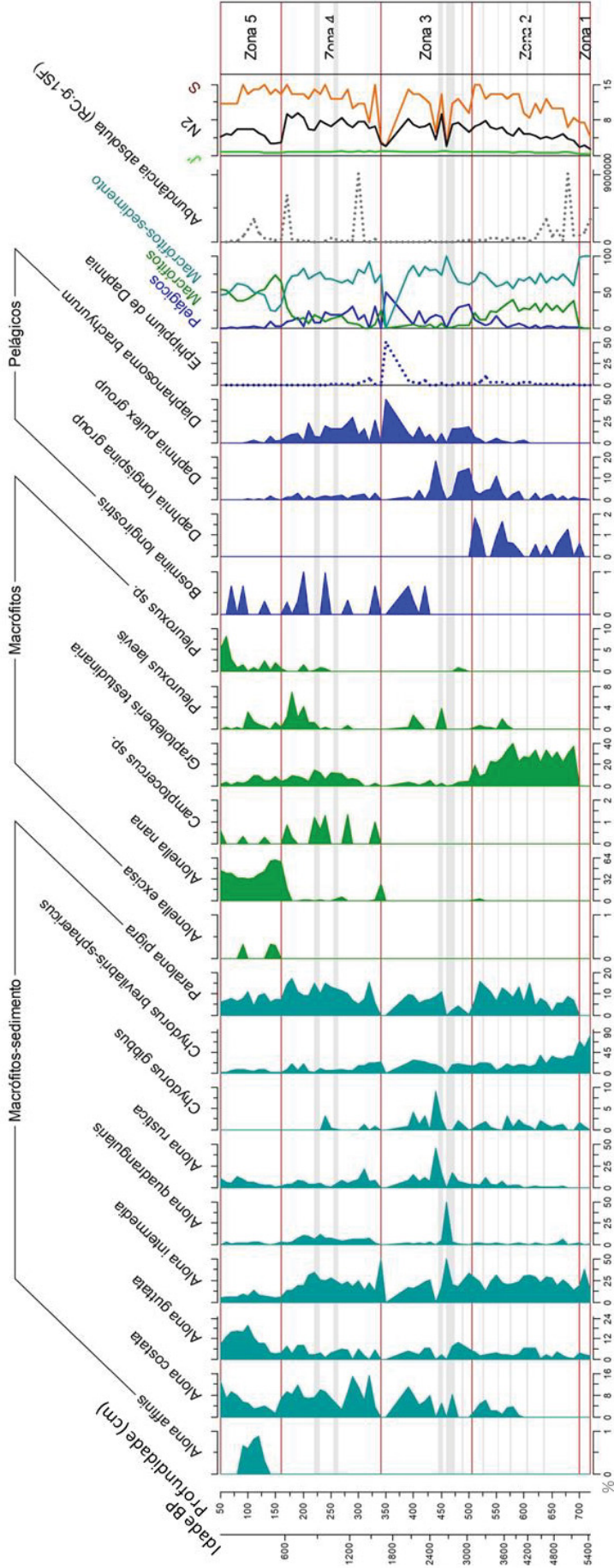


Figura 3.5. Registo sedimentar das comunidades fósseis, abundâncias relativas dos Cladocera identificados, na lagoa do Caveiro. N2 – Diversidade de Hill; S – riqueza taxonómica; J – equitabilidade; d – dominância.

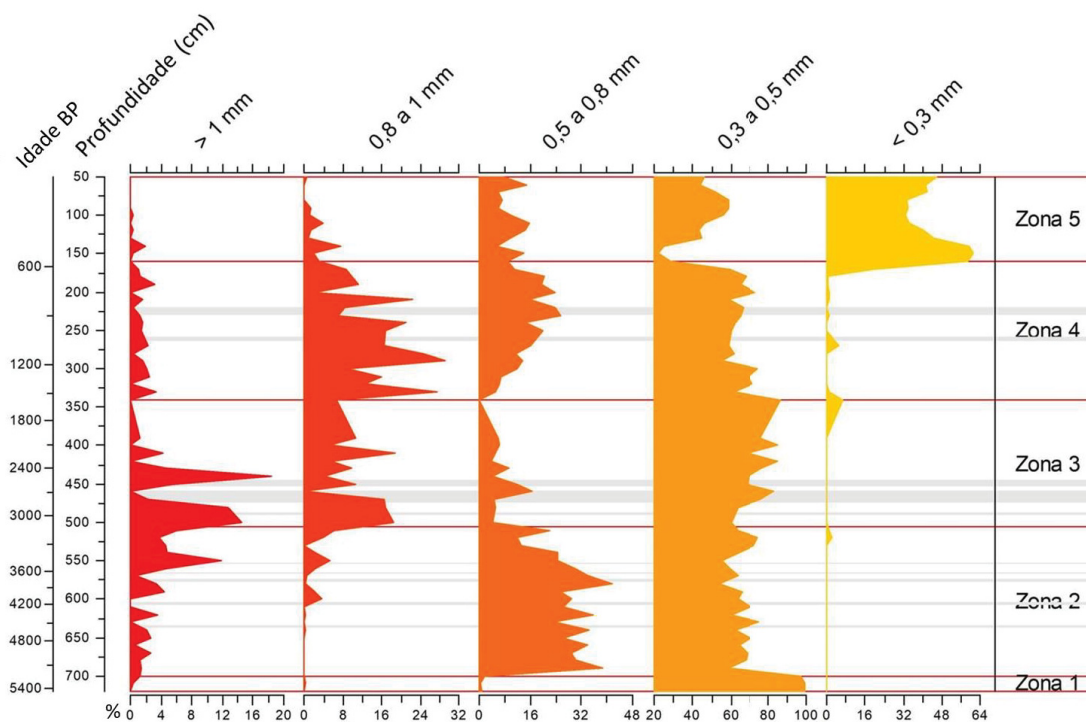


Figura 3.6. Registo sedimentar das comunidades fósseis de Cladocera, abundância das classes de tamanho, da lagoa do Caveiro.

3.5. Depósitos sub-fósseis

Os primeiros 8 cm do registo sedimentar têm aproximadamente 15 anos de idade, representando a comunidade actual (Figura 3.7). Este período da comunidade regista uma riqueza específica (S) média de $7,5 \pm 1,2$ e uma equitabilidade de aproximadamente 1 ($J' = 0,99 \pm 0,01$), e uma diversidade de Hill (N2) de $7,18 \pm 1,02$. As espécies dominantes foram *Alonella nana* da classe de tamanho inferior a 0,3 mm (Figura 3.8), *C. brevilabris* e *Alona guttata* da classe 0,3 a 0,5 mm, reflectindo a maior abundância de taxa associados a macrófitos-sedimentos seguida dos taxa associados apenas a macrófitos e associados a água livre. De salientar, que *Daphnia longispina* group foi a única representante dos taxa planctónicos. (Anexo II).

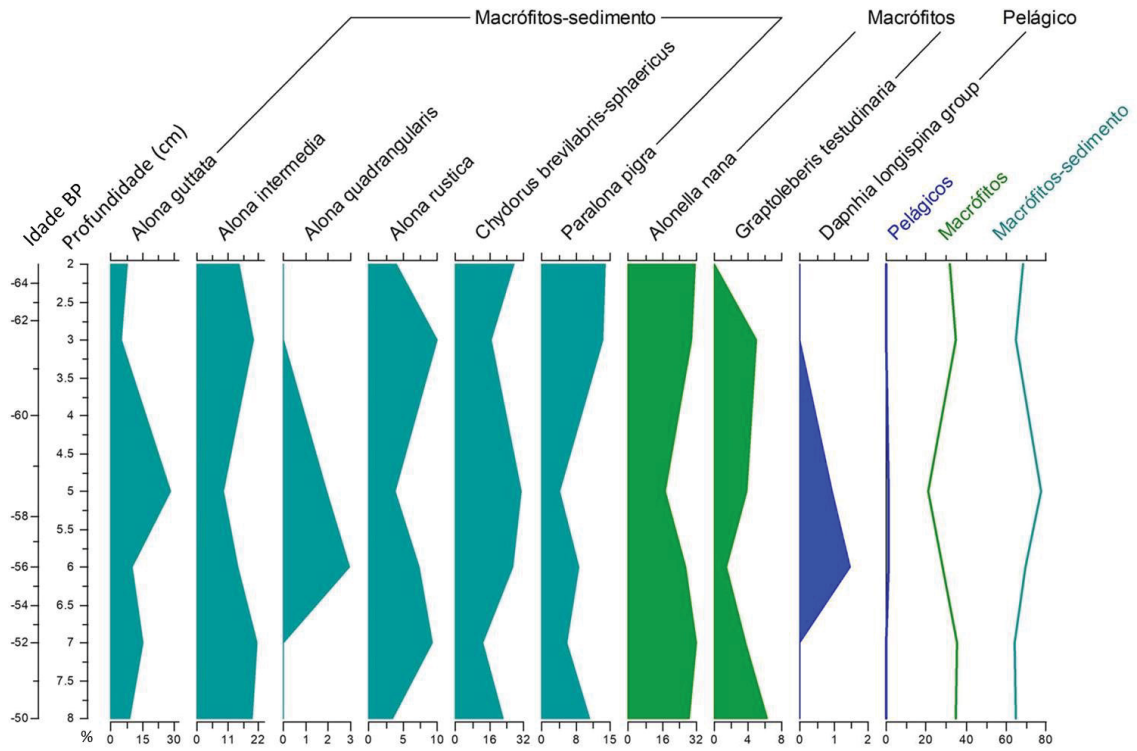


Figura 3.7. Registro sedimentar das comunidades sub-fósseis, abundâncias relativas dos taxa identificados, na lagoa do Caveiro.

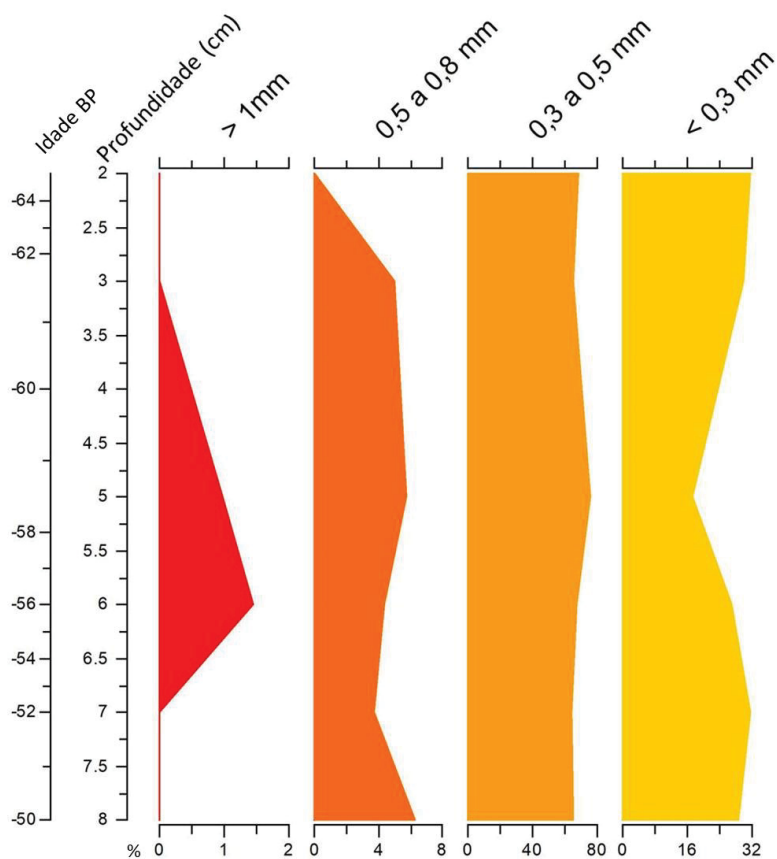
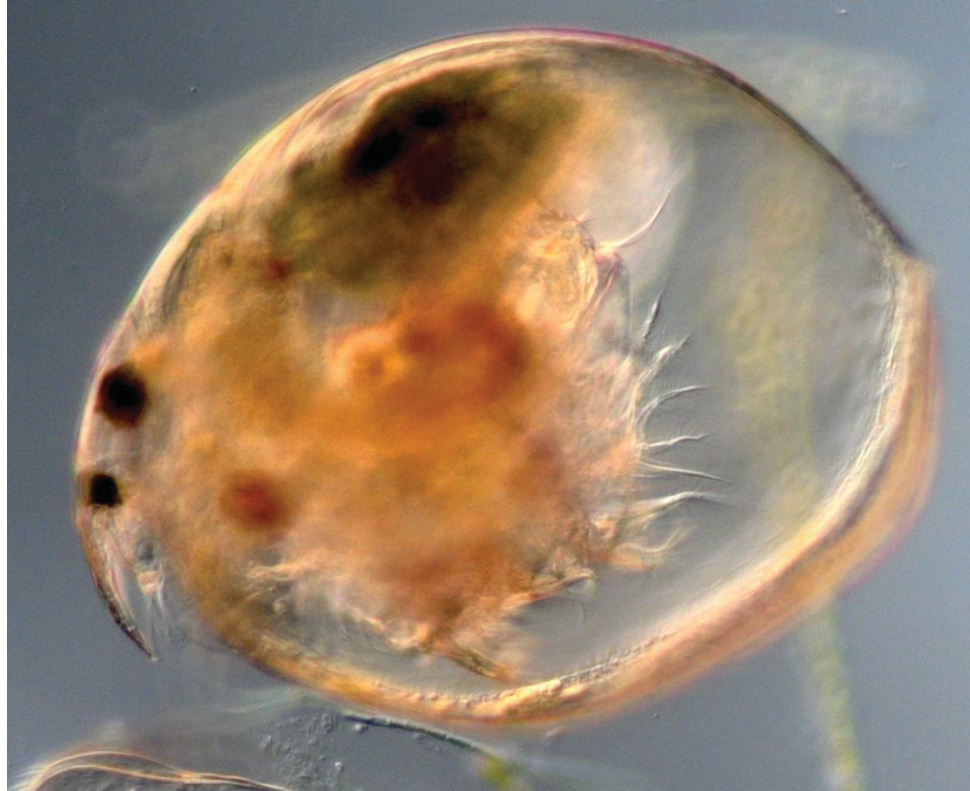


Figura 3.8. Registro sedimentar das comunidades sub-fósseis, abundância das classes de tamanho, da lagoa do Caveiro.

3.6. Comunidade de Peixes actual

No esforço de pesca realizado, foram capturados 12 indivíduos da espécie *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), com médias de comprimento de $5,67 \pm 0,36$ cm. Não se observaram indivíduos de outras espécies.



DISCUSSÃO

4. DISCUSSÃO

O registo sedimentar da lagoa do Caveiro apresenta um passado complexo com processos de sedimentação distintos, visíveis nas diversas fácies sedimentares. Factores ambientais locais, regionais ou globais poderão ter estado na génese da modificação da origem, composição e taxa de sedimentação de cada uma das fácies dos sedimentos desta lagoa. Estes factores determinam a contribuição relativa de sedimentos autóctones e alóctones que têm origem, respectivamente, nos restos de organismos formados no interior da lagoa e em material orgânico ou inorgânico proveniente do exterior (Smol, 2008). À escala local as alterações na lagoa e na bacia após a ocupação humana foram, provavelmente, os principais factores de mudança tal como verificado noutras lagoas dos Açores (e.g. Raposeiro *et al.*, 2017; Rull *et al.*, 2017). As erupções vulcânicas locais e regionais foram, seguramente, um dos factores ambientais com mais impacto na lagoa, segundo Björck *et al.* (2006) a deposição de cinzas vulcânicas modificou o pH da lagoa. Contudo, os resultados da análise dos Cladocera indicam que os fenómenos climáticos à escala global parecem ter sido o factor ambiental mais importante na modificação da estrutura e funcionamento do ecossistema nos últimos ca. 5500 anos, pelo menos até aos primeiros registos dos impactos humanos na bacia hidrográfica (Björck *et al.*, 2006; Connor *et al.*, 2012).

Com base na distribuição dos Cladocera no registo sedimentar é possível definir cinco estados ecológicos da lagoa do Caveiro desde 5475 anos BP até à actualidade.

Fase 1: 5475 aos 5184 anos BP (dos 720 aos 700 cm)

Os primeiros sedimentos lacustres acumularam-se há aproximadamente 5400 anos BP, depois de várias erupções vulcânicas. Esta data de início da formação da lagoa, é corroborada pelo estudo de Björck *et al.* (2006). A colonização da lagoa pelos Cladocera começa com a presença do pioneiro *Chydorus sphaericus-brevilabris* (Zawisza & Szeroczynska, 2007; Błędzki & Rybak, 2016) e de *Alona guttata* e *A. intermedia*. A lagoa do Caveiro terá sofrido numa fase inicial um fenómeno de

sedimentação litoral rápido, característico de lagoas de cratera (Björck *et al.*, 2006). O domínio de espécies oligotróficas, litorais e associadas a sedimento conjuntamente com a ausência de espécies pelágicas e associadas a macrófitos sugerem que a lagoa neste período teria baixa profundidade e reduzida abundância de macrófitos. De acordo com um estudo palinológico de Connor *et al.* (2012) efectuado nesta lagoa, este reforça esta interpretação mostrando a ausência de macrófitos comuns nas lagoas dos Açores (e.g. *Potamogeton* spp. e *Littorella uniflora*) durante este período. Segundo o índice de aridez desenvolvido por Björck *et al.* (2006), este período é caracterizado por elevados níveis de humidade, que segundo o mesmo é reflectido numa maior precipitação, levando ao aumento do nível de água da lagoa.

Fase 2: 5184 aos 3041 anos BP (dos 700 aos 505 cm)

Aproximadamente há cerca de 5200 anos BP ocorreu um aumento sistemático da riqueza específica (S) e diversidade de Hill (N2) (figura 3.5), durante o período denominado Máximo Térmico do Holoceno (HTM), de temperaturas altas. Por exemplo, no Norte da Europa o estudo de Heikkilä & Seppä (2003) determina a temperatura média anual do ar 1,5 a 2,0 °C mais alta do que na actualidade. O aumento da abundância de restos de Cladocera aliado ao aumento da diversidade de espécies associados a macrófitos e a zonas pelágicas sugerem que existiam condições favoráveis para o desenvolvimento desta comunidade. Esta tendência está associada à evolução natural da lagoa do Caveiro, traduzida numa maior diversidade de habitats. De facto, e de acordo com vários estudos, o aumento de diversidade de habitats promove o aumento da riqueza específica e da diversidade (Watson, 1859; Triantis *et al.*, 2003), tal como se verificou neste período.

O aumento na abundância de espécies pelágicas (e.g. *D. longispina* group e *D. pulex* group) sugere um aumento do nível de água da lagoa, aliado ao aparecimento de *taxa* adaptados a temperaturas elevadas, como por exemplo *Diaphanosoma brachyurum* (Błędzki & Rybak, 2016), indicando que possivelmente estaríamos num período quente e húmido. Estas tendências são semelhantes ao reportado por Björck *et al.* (2006), que infere através de um índice de aridez, que estaríamos perante um período húmido nos Açores. Também Nevalainen (2015), utilizando restos de

Cladocera num lago no Norte da Europa, inferiu a temperatura média de Julho e conclui que o no final do HTM (à cerca de 3000 BP) foi caracterizado por um período quente suportando as evidências observadas na lagoa do Caveiro. O aumento da abundância de espécies indicadoras da presença de macrófitos (*G. testudinaria* e *P. laevis*) é coincidente com um período de expansão de macrófitos da zona litoral reportado por Connor *et al.* (2012).

Fase 3: 3041 aos 1629 anos BP (dos 505 aos 340 cm)

A transição de fim do HTM e o início do Arrefecimento do Holoceno Tardio (LHC) aconteceu entre 3000 a 2700 BP, Nevalainen (2015) descreve a transição de um período de temperaturas e precipitação mais elevadas (HTM) para um período árido e temperaturas mais baixas (LHC). Os registos fósseis dos Cladocera, mostram uma diminuição da abundância total, da riqueza específica e da abundância dos *taxa* associados a macrófitos, indicando um período de menor produtividade da lagoa, que é compatível com um período mais frio. Esta interpretação é também suportada pelo aumento no número de *ephippia* de *Daphnia* spp., que apresentam abundâncias superiores em períodos frios e baixo nível de água (Luoto *et. al.*, 2008; Nevalainen *et al.*, 2013). Contudo, o aumento de *taxa* pelágicos como *Daphnia* spp, *D. brachyurum* e *B. longirostris* sugere um aumento do nível da água. Esta aparente contradição poderá ser explicada assumindo a existência de um período frio com instabilidade climática, em que a temperatura é o principal factor de controlo das comunidades biológicas da lagoa e em que a precipitação, embora irregular, era suficiente para manter um nível elevado da lagoa. Segundo o índice de aridez, este período é caracterizado por elevada instabilidade ao nível da precipitação (Björck *et al.*, 2006). As temperaturas mais frias podem ter levado a uma quebra de produtividade e declínio dos macrófitos, possibilitando uma área pelágica maior.

No intervalo 380-360 cm verifica-se, ausência de elementos lacustres (diatomáceas, quironomídeos, cladocera) e elevada presença de restos vegetais, que indicam um período seco (Björck *et al.*, 2006). Contudo a presença de deformações no sedimento no início deste intervalo sugere que tenha resultado da deposição instantânea de sedimentos litorais e material alóctone (rico em restos vegetais) na

sequencia de actividade sísmica intensa. Esta actividade sísmica desencadeou um deslizamento de taludes da bacia para dentro da lagoa, explicando em parte a ausência dos elementos lacustres. Este acontecimento terá acelerado o assoreamento da lagoa e conseqüentemente uma diminuição do plano de água, devido à elevada quantidade de material que se depositou na lagoa (cerca de 40 cm).

Fase 4: 1629 aos 563 anos BP (dos 340 aos 160 cm)

Apesar de se iniciar com uma abundância de Cladocera baixa, este período é caracterizado por um aumento da abundância, riqueza específica e diversidade dos Cladocera com valores extremos de abundância aos 330, 300, 290 e 250 cm. O deslizamento dos taludes que marca o final da fase 3 e a conseqüente diminuição da profundidade da lagoa permitiu o aumento da abundância de macrófitos e, conseqüentemente, das espécies associadas a estes. Neste período surgem espécies tipicamente associadas a macrófitos, *Camptocercus* spp. e *P. laevis*, e aumenta a abundância dos *taxa* associados a macrófitos-sedimentos como *P. pigra*, *A. intermedia* e *A. costata*.

Do ponto de vista climático, verificou-se no início deste período, por volta de 1200 BP, a transição do LHC para o Anomalia Climática Medieval (MCA). Nevalainen (2015) descreve a transição de um período árido e temperaturas mais baixas (LHC) para um período de temperaturas e precipitação mais elevadas (MCA). Esta alteração terá provocado um aumento de produtividade no sistema, observável no aumento da abundância absoluta dos Cladocera e na proliferação de macrófitos (aumento da abundância de *taxa* associados a macrófitos). Connor *et al.* (2012) também observou um aumento da abundância de macrófitos (e.g. *Potamogeton* spp) e de microalgas associadas a macrófitos (e.g. Desmidiáles) na lagoa do Caveiro no mesmo período.

Contrariamente aos *taxa* associados a macrófitos e a macrófitos-sedimentos, os *taxa* tipicamente pelágicos diminuem durante este período, sugerindo uma diminuição gradual do nível de água da lagoa em conseqüência do progressivo assoreamento da lagoa. O aumento na abundância de *A. nana* na parte do final desta fase do sedimento demonstra um arrefecimento do clima à cerca de 700 BP, dado suportado pelo período

climático conhecido por Pequena Idade do Gelo (LIA), descrito por Nevalainen (2015).

Fase 5: 563 aos 232 anos BP (dos 160 aos 50 cm)

Esta zona decorre em plena LIA, com o aparecimento de *Alona affinis* e dominância de *A. nana*, espécies associadas a temperaturas mais baixas (Zawisza & Szeroczynska, 2007). No início desta fase (a 563 anos BP) há uma diminuição brusca no número de indivíduos, verificando-se uma recuperação a partir do centímetro 487 anos BP. Neste período inicia-se a influência antropogénica que, segundo Connor *et al.* (2012), resulta na substituição da floresta nativa por herbáceas e proliferação do *Sphagnum* spp.. A intensificação do assoreamento da lagoa por aumento da erosão da bacia na sequência da desflorestação e proliferação do *Sphagnum* spp. e *Potamogeton polygonifolius* (Connor *et al.*, 2012) conduziu à redução da zona pelágica e das espécies que nela habitam.

Os peixes actualmente presentes na lagoa do Caveiro poderão ter sido introduzidos neste período causando alterações na composição e estrutura da comunidade zooplanctónica. De acordo com estudos realizados noutras ilhas, a introdução de peixes nas lagoas terá ocorrido por volta do ano 1800 AD (Valois & Silva, 1886; Vicente 1956) e teve um forte impacto nas comunidades aquáticas (Skov *et al.*, 2010; Buchaca *et al.*, 2011; Raposeiro *et al.*, 2017).

A presença de peixes planctívoros, aliada à diminuição do nível de água e proliferação da zona litoral, rica em macrófitos terá provocado o decréscimo das espécies de maiores dimensões e favorecimento das espécies de menores dimensões que habitam a zona de macrófitos (e.g. *A. nana* e *P. laevis*).

O registo sub-fóssil (2-8 cm) corresponde à comunidade actual da lagoa que se enquadra na fase 5. À semelhança dos sedimentos fósseis mais recentes (50 cm) as espécies mais abundantes são tipicamente bentónicas e de pequenas dimensões (*A. nana*, *C. brevilabris-sphaericus* e *A. intermedia*) indicando predomínio de habitats bentónicos e a existência de predadores. A riqueza específica exhibe o seu valor mais baixo de todo o perfil sedimentar, resultante da perda de diversidade provocada pelas

influências antrópicas (e.g. excesso de nutrientes, desflorestação, introdução de peixes). A baixa profundidade da lagoa ($Z_{\max} = 3,5$ m) e a presença abundante de *Sphagnum* spp. e *Potamogeton polygonifolius* contribuem para o desaparecimento da zona pelágica.



CONCLUSÃO

5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período conhecido de existência da lagoa do Caveiro, a comunidade de Cladocera sofreu alterações. As variações nas espécies separaram a evolução biológica da lagoa do Caveiro em cinco fases, a análise estatística quantitativa e qualitativa permitiu uma reconstrução com algum pormenor das fases da lagoa. As primeiras quatro fases indicam que a estrutura e funcionamento das comunidades biológicas da lagoa estiveram sob influência natural, sendo as erupções vulcânicas, as alterações climáticas e movimentos de terra os principais factores modeladores dessas comunidades. Pelo contrário, a quinta fase, mais recente, foi influenciada principalmente por pressões antropogénicas.

No início da formação da lagoa esta seria pouco profunda e com poucos macrófitos. As condições geológicas da bacia associadas a uma precipitação forte permitiram o enchimento da mesma. O desabamento de parte das paredes da bacia, associado às condições climáticas mais áridas, provocou uma queda no nível de água e alargamento da zona litoral rica em macrófitos. Nos últimos anos a riqueza taxonómica da lagoa diminuiu, com proliferação de espécies bentónicas e reduzida abundância de espécies planctónicas.

No futuro espera-se uma alteração da distribuição da precipitação anual nos Açores, com níveis de precipitação mais elevados no Inverno e períodos mais secos no Verão. Diversas projecções climáticas são unânimes no aumento da temperatura média global, contudo o tamponamento do oceano deverá moderar o aumento de temperatura nas ilhas dos Açores, ao contrário do que é esperado para Portugal Continental (PRAC, 2017). Tendo em conta a evolução recente da lagoa do Caveiro e as projecções climáticas para o futuro, espera-se que a lagoa continue a registar valores de riqueza taxonómica baixos e dominância de espécies bentónicas. Os Invernos com eventos de precipitação severos poderão acelerar o assoreamento da lagoa do Caveiro.



REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamczuk, M. (2014). Niche separation by littoral-benthic Chydoridae (Cladocera, Crustacea) in a deep lake – potential drivers of their distribution and role in littoral-pelagic coupling. *Journal of Limnology*, Vol 73, No 3.

Adrian, R. O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D., Donk, E. V., Weyhenmeyer, G. A. & Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology. Oceanography*, 54(6), pp. 2283–2297.

Alonso, M. (1996). Crustacea, Branchiopoda. En: *Fauna Ibérica*, vol. 7. RAMOS, M..A. *et al.* (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid. 486 pp.

Alric, B., Jenny, J-P., Berthon, V., Arnaud, F., Pignol, C., Reyss, J-L., Sabatier, P. & Perga, M-E. (2013). Local forcings affect lake zooplankton vulnerability and response to climate warming. *Ecology*, 94(12), pp. 2767–2780. doi: 10.1890/12-1903.1.

Amsinck, S.L., Jeppesen, E. & Verschuren, D. (2007). Use of Cladoceran resting Eggs to trace Climate-driven and Anthropogenic changes in Aquatic Ecosystems. *Diapause in Aquatic Invertebrates*, pp. 135–157.

Andersen, C. S. & Björck, S. (2005). Holocene climate variability in the Denmark strait region – a land- sea correlation of new and existing climate proxy records. *Geografiska Annaler*, 87 A (1): 159-174.

Anderson, N., Foy, R. H., Engstrom, D. R., Rippey, B. & Almgir, F. (2012). Climate forcing of diatom productivity in a lowland, eutrophic lake: White Lough revisited. *Freshwater Biology*. doi: 10.1111/j.1365-2427.2012.02791.x.

Attayde, J. L. & Hansson, L-A. (2001). Fish-mediated nutrient recycling and the trophic cascade in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58(10):1924-1931

Ávila, S.P., Melo, C. Berning, B. Cordeiro, R. Landau, B. & da Silva, C.M. (2016). *Persististrombus coronatus* (Mollusca: Strombidae) in the lower Pliocene of Santa

Maria Island (Azores, NE Atlantic): Paleoecology, paleoclimatology and paleobiogeographic implications, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier B.V., 441(December 2015), pp. 912–923. doi: 10.1016/j.palaeo.2015.10.043.

Battarbee, R. W. (2000). Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews*, 19, pp. 107–124.

Belyaeva, M. & Taylor, D. J. (2009). Cryptic species within the *Chydorus sphaericus* species complex (Crustacea: Cladocera) revealed by molecular markers and sexual stage morphology. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 50, pp. 534–546. doi: 10.1016/j.ympev.2008.11.007.

Berry, R. J. (1992). The significance of island biotas. *Biological Journal of the Linnean Society*, 46, 3-12.

Bjerring, R. (2007). Lake response to global change: nutrient and climate effects using cladoceran (Crustacea) subfossils as proxies. Department of Biological Sciences, University of Aarhus. Disponível em: <http://www.neri.dk>.

Bjerring, R., Becares, E., Declerck, S., Gross, E. M., Hansson, L-A., Kairesalo, T., Kykanen, M., Halkiewicz, A., Kornijów, R., Conde-Porcuna, J. M., Seferlis, M., Nöges, T., Moss, B., Amsinck, S. L., Odgaard, B. V. & Jeppesen, E. (2009). Subfossil Cladocera in relation to contemporary environmental variables in 54 Pan-European lakes. *Freshwater Biology*, 54, pp. 2401–2417. doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02252.x.

Björck, S., Rittenour, T., Rosén, P., França, Z., Moller, P., Snowball, I., Wastegard, S., Bennike, O. & Kromer, B. (2006). A Holocene lacustrine record in the central North Atlantic: Proxies for volcanic activity, short-term NAO mode variability, and long-term precipitation changes. *Quaternary Science Reviews*, 25, pp. 9–32. doi: 10.1016/j.quascirev.2005.08.008.

Blanck, A. & Lammouroux, N. (2007). Large-scale intraspecific variation in life-history traits of 44 European freshwater fish. *Journal of Biogeography* 34: 862–875.

Błądzki, L. A. & Rybak, J. I., (2016). Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe. *Springer International Publishing*.

Blumenshine, S. C., Lodge, D. M. & Hodgson, J. R. (2000). Gradient of fish

predation alters body size distributions of lake benthos. *Ecology* 81:374-386.

Bos, D. G., Cumming, B. F. & Smol, J. P. (1999). Cladocera and Anostraca from the Interior Plateau of British Columbia, Canada, as paleolimnological indicators of salinity and lake level. *Hydrobiologia*, 392, pp. 129–141.

Bos, D. G. & Cumming, B. F. (2003). Sedimentary Cladoceran remains and their relationship to nutrients and other limnological variables in 53 lakes from British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(10): 1177-1189, <https://doi.org/10.1139/f03-097>

Buchaca, T., Skov, T., Amsinck, S. L., Gonçalves, V., Azevedo, J. M. N., Andersen, T. J. & Jeppesen, E. (2011). Rapid Ecological Shift Following Piscivorous Fish Introduction to Increasingly Eutrophic and Warmer Lake Furnas (Azores Archipelago, Portugal): A Paleoecological Approach. *Ecosystems*, 14, pp. 458–477. doi: 10.1007/s10021-011-9423-0.

Carine, M. A. & Schaefer, H. (2010). The Azores diversity enigma: Why are there so few Azorean endemic flowering plants and why are they so widespread?. *Journal of Biogeography*, 37, pp. 77–89. doi: 10.1111/j.1365-2699.2009.02181.x.

Carpenter, S. R., Kitchell, J. F. & Hodgson, J. R. (1985). Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity. *BioScience*, 35, 634-639

Carpenter, S. R., Benson, B. J., Biggs, R., Chipman, J. W., Foley, J. A., Golding, S. A., Hammer, R. B., Hanson, P. C., Johnson, P. T. J., Kamarainen, A. M., Kratz, T. K., Lathrop, R. C., McMahon, K. D., Provencher, B., Rusak, J. A., Solomon, C. T., Stanley, E. H., Turner, M. G., Zanden, M. J. V., Wu, C-H. & Yuan, H. (2007) Understanding Regional Change: A comparison of two lake districts. *Bio. Science*, 57, 4 323-335

Carter, J. C. H., Dadswell, M. J., Rolf, J. C. & Sprules, W. G. (1980). Distribution and zoogeography of planktonic crustaceans and dipterans in glaciated eastern North America. *Canadian Journal of Zoology*, 58(7), pp. 1355–1387. doi: 10.1139/z80-188.

Connor, S. E., van Leeuwen, J. F. N., Rittenour, T. M., Knaap, W. O van der, Ammann, B. & Björck, S. (2012). The ecological impact of oceanic island colonization - a palaeoecological perspective from the Azores. *Journal of Biogeography*, 39, pp. 1007–1023. doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02671.x.

Cruz, J. V. & Brito, A. G., (2002). Contribuição da hidrogeologia para o planeamento e a gestão sustentável da água no arquipélago dos Açores. *in: Actas do 10º ENaSB - SILUBESA, Braga. CD ROM, 15 pp.*

Cruz, J. V., Antunes, P., Amaral, C., França, Z. & Nunes, J. C., (2006). Volcanic lakes of the Azores archipelago (Portugal): Geological setting and geochemical characterization. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156, pp. 135–157. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2006.03.008.

Dumont, H. J. (1994). On the diversity of the Cladocera in the tropics. *Hydrobiologia*, 272, pp. 27–38. doi: 10.1007/BF00006510.

Eilers, J. M. *et al.* (2007). Biological effects of repeated fish introductions in a formerly fishless lake: Diamond Lake, Oregon, USA. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*. doi: 10.1127/1863-9135/2007/0169-0265.

França, Z.T.M., (2000). Origem e evolução petrológica e geoquímica do vulcanismo da ilha do Pico, Açores. Ph.D. Thesis, Azores University, Portugal, 372pp (in Portuguese).

Frey, D. (1986). Cladocera analysis. In Berglund, B. E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. J. Wiley & Sons, Chichester, 667–692.

Gąsiorowski, M. & Hercman, H. (2005). Recent sedimentation and eutrophication of Kruklin lake after artificial drop in water-level in the middle of 19th century. *Studia Quaternaria*, 22(January 2005), pp. 17–25.

Gillooly, J. F. & Dodson, S. I. (2000). Latitudinal patterns in the size distribution and seasonal dynamics of new world, freshwater cladocerans. *Limnology Oceanography*, 45(1), pp. 22–30.

Green, J. (1992). Island biogeography, diversity and dominance of zooplankton in crater lakes on the Azores. *Biological Journal of the Linnean Society*, 46: 189-205.

Hann, B. J. (1988). Methods in Quaternary Ecology 6 Cladocer., *Geoscience Canada*, 16(1), pp. 17–26.

Heikkilä, M. & Sonninen, H. (2003). A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews*,

22:541-554

Hooker, J. D. (1867). Insular floras. *Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette*, January, 6-7, 27, 50-51, 75-76.

IPCC, (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M. L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

Jeppesen, E., Leavitt, P., De Meester, L. & Jensen, J. P. (2001). Functional ecology and palaeolimnology: Using cladoceran remains to reconstruct anthropogenic impact. *Trends in Ecology and Evolution*. doi: 10.1016/S0169-5347(01)02100-0.

Jeppesen, E. *et al.* (2003). Sub-fossils of cladocerans in the surface sediment of 135 lakes as proxies for community structure of zooplankton, fish abundance and lake temperature. *Hydrobiologia*, 491, pp. 321–330. doi: 10.1023/A:1024488525225.

Jeppesen, E., J. P. Jensen, C. Jensen, B. Faafeng, D. O. Hessen, M. Søndergaard, T. Lauridsen, P. Brettum & K. Christoffersen (2003b). The impact of nutrient state and lake depth on top-down control in the pelagic zone of lakes: a study of 466 lakes from the temperate zone to the arctic. *Ecosystems* 6: 313–325.

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K., González-Bergonzoni, I., Mello, F. T., Declerck, S. A. J., Meester, L. D., Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Bjerring, R., Conde-Porcuna, J. M., Mazzeo, N., Iglesias, C., Reizenstein, M., Malmquist, H. J., Liu, Z., Balayla, D. & Lazzaro, J. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*. doi: 10.1007/s10750-010-0171-5.

Johansson, L. S., Amsinck, S. L., Bjerring, R. & Jeppesen, E. (2005). Mid- to late-Holocene land-use change and lake development at Dallund So, Denmark: trophic structure inferred from cladoceran subfossils. *The Holocene* 15, 1143-1151.

Juggins, S. (2017) rioja: Analysis of Quaternary Science Data, R package version (0.9-15). (<http://cran.r-project.org/package=rioja>).

Kattel, G.R., Battarbee, R.W., Mackay, A. & Birks, H.J.B. (2007). Are cladoceran fossils in lake sediment samples a biased reflection of the communities from which they are derived? *Journal of Paleolimnology*, 38:157–181

Kernan, M. R., Battarbee, R.W & Moss, B. (2010). Climate change impacts on freshwater ecosystems. Wiley Online Library.

Knapp, R. A., Matthews, K. R. & Sarnelle, O. (2001). Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions. *Ecological Monographs, Ecological Society of America*. Volume 71, 3, 401-421.

Korhola, A. & Rautio, M. (2001). Cladocera and Other Branchiopod Crustaceans. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, vol. 4. doi: 10.1007/0-306-47671-1_2.

Korosi, J. B. & Smol, J. P. (2012). An illustrated guide to the identification of cladoceran subfossils from lake sediments in northeastern North America: Part 1-the Daphniidae, Leptodoridae, Bosminidae, Polyphemidae, Holopedidae, Sididae, and Macrothricidae. *Journal of Paleolimnology*, 48(3), pp. 571–586. doi: 10.1007/s10933-012-9632-3.

Kurek, J., Korosi, J. B., Jeziorski, A. & Smol, J. P. (2010). Establishing reliable minimum count sizes for cladoceran subfossils sampled from lake sediments. *Journal of Paleolimnology*, 44:603-612.

Labaj, A. L., Michelutti, N. & Smol, J. P. (2017). Changes in cladoceran assemblages from tropical high mountain lakes during periods of recent climate change. *Journal of Plankton Research*, 39 (2): 211-219.

Last, W. & Smol, J. (2001). Tracking Environmental change Using Lake Sediments. Vol1: Basin Analysis, Coring and Chronological Techniques. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.

Leavitt, P. R., Fritz, S. C., Anderson, N. J., Baker, P. A., Blenckner, T., Bunting, L., Catalan, J., Conley, D. J., Hobbs, W. O., Jeppesen, E., Korhola, A., McGowan, S., Ruhland, K., Rusak, J. A., Simpson, G. L., Solovieva, N. & Werne, J. (2009). Paleolimnological evidence of the effects on lakes of energy and mass transfer from climate and humans. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2), 2330-2348

Lotter, A. F., Birks, H. J. B., Hofmann, W. & Marchetto, A. (1997). Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology*, 18: 395-420.

Luoto, M. & Heikkinen, R. K. (2008). Disregarding topographical heterogeneity biases species turnover assessments based on bioclimatic models. *Global Change Biology*, 14, 3, 483-494

Magnuson, J. J., Robertson, D. M., Benson, B. J., Wynne, R. H., Livingstone, D. M., Arai, T., Assel, R. A., Barry, R. G., Cad, V., Kuusisto, E., Granin, N. G., Prowse, T. D., Steward, K. M. & Vuglinski, V. S. (2000). Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, pp 1743-1746

Manca, M., Torretta, B., Comoli, P., Amsinck, S. L. & Jeppesen, E. (2007). Major changes in trophic dynamics in large, deep sub-alpine Lake Maggiore from 1940s to 2002: A high resolution comparative palaeo-neolimnological study. *Freshwater Biology*, 52, pp. 2256–2269. doi: 10.1111/j.1365-2427.2007.01827.x.

Milan, M., Bigler, C., Tolotti, M. & Szeroczyńska, K. (2017). Effects of long term nutrient and climate variability on subfossil Cladocera in a deep, subalpine (Lake Garda, northern Italy). *Journal of Paleolimnology*. 58, 3, 335-351.

Miller, S. A. & Crowl, T. A. (2006). Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on macrophytes and invertebrate communities in a shallow lake. *Freshwater Biology*, Volume 51, 1, 85-94.

Moore, M. V., Folt, C. L. & Stemberger, R. S. (1996) Consequences of elevated temperatures for zooplankton assemblages in temperate lakes. *Hydrobiologia*, 135(3), pp. 289–319.

Nevalainen, L., Luoto, T. P., Levine, S. & Manca, M. (2011). Modern and pre-Industrial Age distributions of Cladocera in Italian and Swiss Alpine lakes. *Hydrobiologia*, 676, pp. 173–185. doi: 10.1007/s10750-011-0802-5.

Nevalainen, L., Luoto, T. P., Kultti, S. & Sarmaja-Korjonen, K. (2013). Spatio-temporal distribution of sedimentary Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) in relation to climate. *Journal of Biogeography*, 40, 1548-1559.

Nevalainen, L., Rantala, M. V. & Luoto, T. P. (2015). Sedimentary cladoceran assemblages and their functional attributes record late Holocene climate variability in southern Finland. *Journal of Paleolimnology*, 54:239-252

Nunes, J. C. C. (1999). A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores.

O'Reilly, C. M., Alin, S. R., Plisnier, P-D., Cohen, A. S. & McKee B. A. (2003). Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, 424. doi: 10.1038/nature01833.

Persson, A. & Hansson, L. A. (1999) '70 D', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, pp. 70–78.

PGRH Açores (2014). Plano de gestão de recursos hídricos da ilha do Pico. Relatório técnico - Caracterização e diagnóstico da situação de referência – PGRHI Pico. Volume 6.

Porteiro, J. (2000). Lagoa dos Açores: Elementos de Suporte ao Planeamento Integrado. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Geografia. Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

PRAC (2017). Programa Regional para as Alterações Climáticas dos Açores. Versão para consulta pública.

Ramalho, R., Helffrich, G., Madeira, J., Cosca, M., Quartau, R., Thomas, C., Hipólito & A., Ávila, S.P. (2017). Emergence and evolution of Santa Maria Island (Azores) — the conundrum of uplifting islands revisited. *GSA Bulletin* 129(3-4): 372-390.

Raposeiro, P. M., Rubio, M. J., Gonzáles, A., Hernández, A., Sánchez-López, G., Vázquez-Loureiro, D., Rull, V., Bao, R., Costa, A. C., Gonçalves, V., Sáez, A. & Giral, S. (2017). Impact of the historical introduction of exotic fishes on the chironomid community of Lake Azul (Azores Islands). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 466, 77-88.

Rautio, M., Sorvari, S. & Korhola, A. (2000). Diatom and crustacean zooplankton communities, their seasonal variability and representation in the sediments of subarctic Lake Saanajärvi. *Journal of Limnology*, 59, pp. 81–96.

Reissig, M., C. Trochine, C. Queimalinos, E. Balseiro & B. Modenutti. (2006). Impact of fish introduction on planktonic food webs in lakes of the Patagonian Plateau. *Biological Conservation*, 132(4), pp. 437–447. doi: 10.1016/j.biocon.2006.04.036.

Rimbu, N., Lohmann, G., Lorenz, S. J., Kim, J. H. & Schneider, R. R. (2004). Holocene climate variability as derived from alkenone sea surface temperature and coupled ocean-atmosphere model experiments. *Climate Dynamics*, 23, 215-227.

Rull, V., Lara, A., Rubio-Inglés, M. J., Giralt, S., Gonçalves, V., Raposeiro, P., Hernández, A., Sánchez-López, G., Vázquez-Loureiro, D., Bao, R., Masqué, P. & Sáez, A. (2017). Vegetation and landscape dynamics under natural and anthropogenic forcing on the Azores Islands: A 700-year pollen record from the São Miguel Island. *Quaternary Science Reviews*, 159, pp. 155–168. doi: 10.1016/j.quascirev.2017.01.021.

Schafer, H. (2003). Chorology and Diversity of the Azorean Flora. *Dissertationes Botanicae*, Band 374.

Schindler, D. W., Bayley, S. E. & Parker, B. R. (1996). The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *Limnology and Oceanography*, 41(5), pp. 1004–1017. doi: 10.4319/lo.1996.41.5.1004.

Skov, T., Buchaca, T., Amsinck, S. L., Landkildehus, F., Odgaard, B. V., Azevedo, J., Gonçalves, V., Raposeiro, P. M., Andersen, T. J. & Jeppesen, E. (2010). Using invertebrate remains and pigments in the sediment to infer changes in trophic structure after fish introduction in Lake Fogo: a crater lake in the Azores. *Hydrobiologia*, 654:13-25

Smol, J., Briks, H. J. B. & Last, W. M. (2001). Tracking environmental change using lake sediments. Vol4: Zoological Indicators, Tracking environmental change using lake sediments. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS NEW. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Smol, J. P. (2008). *Pollution of Lakes and Rivers*. Second Edi. Blackwell

Publishinh.

Szeroczyńska, K. (2006). The significance of subfossil Cladocera in stratigraphy of Late Glacial and Holocene. *Studia Quaternaria* 23:37-45.

Szerocynska, K. & Sarmaka-Korjonene, K. (2007). Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. 2007. Copyright.

Triantis, K. A., Mylonas, M., Lika, K. & Vardinoyannis, K. (2003). A model for the species-area-habitat relationship. *Journal of Biogeography*, 30, 19-27

Valois, S. F. (1886). Descrição das águas minerais das Furnas na ilha de São Miguel, Archivo dos Açores. Typografia do arquivo dos Açores. (Ponta Delgada). pp. 437–446.

Verburg, P., Hecky, R. E. & Kling, H. (2003). Ecological Consequences of a Century of Warming in Lake Tanganyika. *Science*, 301, pp. 505–507.

Vicente, A. (1956). Introdução de peixes de água doce nas lagoas de S. Miguel. *Açoreana*. 5.

Watson, H. C. (1859) Cybele Brittanica. London

Winder, M., & D. E. Schindler. (2004). Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic system. *Ecology* 85:2100–2106.

Whittaker, R. J. & Fernandez-Palacios, J. M. (2007). Island Biogeography, Ecology, Evolution and Conservation. Second Edition. Oxford Biology.

Whittaker, R. J., Triantis, K. A. & Ladle, R. J. (2008). A general dynamic theory of oceanic island biogeography. *Journal of Biogeography*, 35, 977-994.

Zawisza, E. & Szeroczyńska, K. (2007). The Development History of Wigry Lake as shown by subfossil Cladocera. *GeoChronometria*, 27, pp. 67–74. doi: 10.2478/v10003-007-0021-2.



ANEXOS

Anexo I: Abundância relativa de Cladocera, do registo sedimentar profundo, identificados na lagoa do Caveiro.

Profundidade (cm)	<i>Alona affinis</i>	<i>Alona costata</i>	<i>Alona guttata</i>	<i>Alona intermedia</i>	<i>Alona quadrangularis</i>	<i>Alona rustica</i>	<i>Alonella excisa</i>	<i>Alonella nana</i>	<i>Bosmina longirostris</i>	<i>Camptocercus sp.</i>	<i>Chydorus gibbus</i>
50	0,00	13,35	8,70	4,97	0,31	10,87	0,00	45,65	0,00	0,62	0,00
60	0,00	6,93	13,20	6,60	2,97	6,93	0,00	41,25	0,00	0,00	0,00
70	0,00	9,30	15,95	5,98	1,66	5,65	0,00	41,86	0,66	0,00	0,00
80	0,00	8,06	16,77	6,77	2,26	13,23	0,00	33,55	0,00	0,00	0,00
90	0,66	5,61	16,17	10,23	1,98	9,24	0,33	33,99	0,66	0,33	0,00
100	0,60	5,06	20,24	7,14	1,79	6,85	0,00	32,74	0,00	0,00	0,00
110	0,82	3,28	12,57	14,48	3,83	6,83	0,00	34,43	0,00	0,00	0,00
120	0,89	3,56	9,50	8,31	3,56	4,15	0,00	40,06	0,00	0,00	0,00
130	0,31	4,04	9,63	8,07	0,93	3,42	0,00	44,72	0,31	0,31	0,00
140	0,00	2,87	4,14	7,01	0,00	3,50	0,32	59,24	0,00	0,00	0,00
150	0,00	1,47	3,24	5,60	1,47	1,47	0,29	61,36	0,00	0,00	0,00
160	0,00	6,98	4,07	6,40	3,49	2,33	0,00	58,72	0,00	0,00	0,00
170	0,00	9,43	7,71	13,71	2,29	4,86	0,00	19,14	0,29	0,86	0,00
180	0,00	8,52	3,15	14,51	3,79	4,73	0,00	0,63	0,00	0,32	0,00
190	0,00	11,95	8,18	19,50	8,18	8,81	0,00	0,63	0,31	0,00	0,00
200	0,00	7,26	8,25	19,14	10,89	7,92	0,00	0,99	0,99	0,00	0,00

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Alona affinis</i>	<i>Alona costata</i>	<i>Alona guttata</i>	<i>Alona intermedia</i>	<i>Alona quadrangularis</i>	<i>Alona rustica</i>	<i>Alonella excisa</i>	<i>Alonella nana</i>	<i>Bosmina longirostris</i>	<i>Camptocercus sp.</i>	<i>Chydorus gibbus</i>
210	0,00	6,84	2,93	31,27	9,77	3,91	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00
220	0,00	7,32	2,74	35,06	6,71	3,96	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00
230	0,00	10,19	4,14	26,11	12,42	5,10	0,00	0,96	0,00	0,64	0,00
240	0,00	9,54	1,32	25,00	7,24	1,64	0,00	0,00	0,99	1,32	3,29
250	0,00	7,02	3,68	28,76	7,36	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
270	0,00	2,94	5,88	20,92	4,25	8,50	0,00	5,23	0,00	0,00	0,00
280	0,00	9,00	5,67	24,33	5,00	5,67	0,00	0,00	0,33	1,33	0,00
290	0,00	14,95	0,00	18,60	6,64	7,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	0,00	10,97	5,96	25,39	6,90	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
310	0,00	6,19	2,48	13,93	6,81	21,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24
320	0,00	15,38	0,00	23,08	7,69	7,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	0,00	3,65	5,32	13,29	1,99	8,97	0,00	1,00	0,66	1,00	1,00
340	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	11,26	4,97	17,88	2,32	8,61	0,00	0,00	0,66	0,00	0,99

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Alona affinis</i>	<i>Alona costata</i>	<i>Alona guttata</i>	<i>Alona intermedia</i>	<i>Alona quadrangularis</i>	<i>Alona rustica</i>	<i>Alonella excisa</i>	<i>Alonella nana</i>	<i>Bosmina longirostris</i>	<i>Camptocercus sp.</i>	<i>Chydorus gibbus</i>
400	0,00	8,22	3,62	15,79	1,64	14,80	0,00	0,00	0,33	0,00	4,28
410	0,00	4,65	2,99	19,60	2,33	7,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
420	0,00	5,94	6,60	24,09	0,99	11,88	0,00	0,00	0,66	0,00	3,30
430	0,00	8,14	6,84	25,73	3,58	7,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,45	0,00	0,00	0,00	0,00	9,09
450	0,00	5,23	2,94	18,30	5,23	16,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,61
460	0,00	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	0,00	8,31	7,97	20,93	3,32	16,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	9,97	18,69	0,62	7,48	0,00	0,00	0,00	0,00	2,18
500	0,00	0,00	6,29	33,44	0,00	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
510	0,00	2,40	4,20	27,93	2,40	4,50	0,00	1,20	0,00	0,00	0,60
520	0,00	4,98	2,49	23,68	2,49	3,74	0,00	2,49	0,00	0,00	1,25
530	0,00	6,19	2,93	12,70	1,30	11,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95
540	0,00	2,38	3,27	23,51	1,19	3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
550	0,00	2,51	4,08	31,97	2,51	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
560	0,00	0,98	2,61	22,80	0,98	7,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Chydorus brevilabris- sphaericus</i>	<i>Daphnia longispina group</i>	<i>Daphnia pulex group</i>	<i>Dyaphanosoma brachyurum</i>	<i>Ephippium de Daphnia</i>	<i>Graptoleberis testudinaria</i>	<i>Paralona pigra</i>	<i>Pleuroxus laevis</i>	<i>Pleuroxus sp.</i>
50	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	6,21	0,00	5,28
60	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	7,26	0,33	8,25
70	6,64	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	7,97	0,00	2,99
80	7,74	0,00	0,00	0,00	0,00	3,87	6,45	0,32	0,97
90	8,58	0,00	0,00	0,33	0,00	2,31	7,92	0,00	1,65
100	5,36	0,00	0,30	0,60	0,00	4,76	11,31	3,27	0,00
110	4,37	0,00	0,00	3,01	0,27	9,56	4,37	1,37	0,82
120	8,90	0,00	0,30	0,59	0,00	9,79	9,20	0,89	0,30
130	9,01	0,00	0,00	0,31	0,00	5,59	10,25	0,62	2,48
140	1,27	0,00	1,91	7,64	0,32	5,41	6,05	0,00	0,32
150	2,95	0,00	0,29	2,06	0,00	9,14	7,37	1,18	2,06
160	1,45	0,00	0,00	3,20	0,29	4,65	7,56	0,29	0,58
170	8,86	0,00	1,14	7,71	0,29	6,57	14,86	2,29	0,00
180	19,87	0,00	1,26	9,46	0,00	9,46	17,35	6,94	0,00
190	5,35	0,00	3,14	11,32	0,00	9,12	11,32	2,20	0,00

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Chydorus brevilabris- sphaericus</i>	<i>Daphnia longispina group</i>	<i>Daphnia pulex group</i>	<i>Dyaphanosoma brachyurum</i>	<i>Ephippium de Daphnia</i>	<i>Graptoleberis testudinaria</i>	<i>Paralona pigra</i>	<i>Pleuroxus laevis</i>	<i>Pleuroxus sp.</i>
200	4,89	0,00	1,63	22,48	0,00	4,56	9,45	1,30	0,00
210	3,05	0,00	0,30	7,32	0,30	15,55	14,94	1,22	0,30
220	9,55	0,00	1,27	6,37	0,00	12,10	10,19	0,00	0,96
230	5,59	0,00	1,64	20,07	0,00	6,25	15,13	0,33	0,66
240	6,02	0,00	1,34	16,72	1,34	12,71	13,38	0,00	0,00
250	9,15	0,00	2,29	16,67	0,98	11,76	11,44	0,00	0,00
270	7,00	0,00	0,33	23,33	1,33	6,00	10,00	0,67	0,00
280	6,98	0,00	1,66	29,24	0,33	6,98	7,31	0,00	0,00
290	17,55	0,00	2,19	9,09	2,19	5,02	5,33	0,00	0,00
300	16,72	0,00	2,48	16,10	4,95	0,00	7,43	0,00	0,00
310	23,08	0,00	0,00	0,00	7,69	0,00	15,38	0,00	0,00
320	23,26	0,00	3,32	26,58	1,33	2,99	5,65	0,00	0,00
330	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	4,89	0,00	1,63	22,48	0,00	4,56	9,45	1,30	0,00

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Chydorus brevilabris- sphaericus</i>	<i>Daphnia longispina group</i>	<i>Daphnia pulex group</i>	<i>Dyaphanosoma brachyurum</i>	<i>Ephippium de Daphnia</i>	<i>Graptoleberis testudinaria</i>	<i>Paralona pigra</i>	<i>Pleuroxus laevis</i>	<i>Pleuroxus sp.</i>
390	22,19	0,00	1,32	10,60	5,96	3,31	9,60	0,33	0,00
400	28,62	0,00	0,00	5,26	2,96	2,30	9,54	2,63	0,00
410	27,24	0,00	4,32	18,94	1,99	1,33	5,98	1,33	0,00
420	25,74	0,00	0,00	5,61	5,28	2,97	6,93	0,00	0,00
430	20,85	0,00	4,56	9,77	0,00	5,54	7,49	0,00	0,00
440	18,18	0,00	18,18	0,00	0,00	0,00	9,09	0,00	0,00
450	12,75	0,00	5,56	10,78	2,61	2,94	11,11	3,92	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	19,27	0,00	2,33	16,61	0,33	1,33	2,66	0,00	0,00
480	20,87	0,00	12,77	16,82	1,87	3,43	4,36	0,00	0,93
500	15,89	0,00	14,57	18,54	2,32	4,30	0,33	0,00	0,00
510	17,42	1,80	4,20	6,31	0,60	19,22	6,91	0,30	0,00
520	22,43	1,25	2,49	4,05	3,12	8,72	16,20	0,62	0,00
530	23,45	0,00	4,56	0,00	9,77	11,73	13,36	0,33	0,00
540	19,94	0,00	4,76	2,38	3,27	23,21	11,31	0,30	0,00

Anexo I: Continuação.

Profundidade (cm)	<i>Chydorus brevilabris- sphaericus</i>	<i>Daphnia longispina group</i>	<i>Daphnia pulex group</i>	<i>Dyaphanosoma brachyurum</i>	<i>Ephippium de Daphnia</i>	<i>Graptoleberis testudinaria</i>	<i>Paralona pigra</i>	<i>Pleuroxus laevis</i>	<i>Pleuroxus sp.</i>
550	6,90	0,94	10,97	5,33	3,13	21,94	6,58	0,00	0,00
560	12,70	1,63	2,93	2,28	3,58	27,04	13,03	1,95	0,00
570	19,87	0,66	0,00	0,66	0,66	33,44	11,26	0,66	0,00
580	14,02	0,61	2,74	0,30	1,22	39,94	8,23	0,00	0,00
590	18,75	0,31	4,06	2,19	2,19	23,13	13,44	0,00	0,00
600	19,68	0,00	0,00	3,55	3,87	27,42	6,13	0,00	0,00
610	14,57	0,00	0,00	0,00	2,98	26,49	15,23	0,00	0,00
620	18,50	0,58	2,89	0,29	0,58	33,82	4,34	0,00	0,00
630	40,57	0,00	0,00	0,00	1,26	22,64	8,18	0,00	0,00
640	21,72	0,54	1,61	0,27	0,80	33,78	6,17	0,00	0,00
650	37,05	0,00	2,62	0,00	0,66	25,57	1,97	0,00	0,00
660	32,85	0,58	0,00	0,00	0,58	31,98	5,81	0,00	0,00
670	30,52	0,97	1,62	0,00	0,00	22,08	5,84	0,00	0,00
680	36,77	1,29	0,00	0,00	0,00	30,32	9,03	0,00	0,00
690	37,21	0,00	1,33	0,00	1,33	37,54	6,98	0,00	0,00

Anexo II: Abundância relativa de Cladocera, nos primeiros 8 cm do registro sedimentar, identificados na lagoa do Caveiro.

Profundidade (cm)	<i>Alona guttata</i>	<i>Alona intermedia</i>	<i>Alona quadrangularis</i>	<i>Alona rustica</i>	<i>Alonella nana</i>	<i>Chydorus brevilabris</i>	<i>Daphnia longispina group</i>	<i>Graptoleberis testudinaria</i>	<i>Paralona pigra</i>
2	7,92	14,85	0,00	3,96	31,68	27,72	0,00	0,00	13,86
3	5,00	20,00	0,00	10,00	30,00	16,67	0,00	5,00	13,33
5	27,88	9,62	1,92	3,85	17,31	30,77	0,96	3,85	3,85
6	10,22	14,60	2,92	7,30	27,01	27,01	1,46	1,46	8,03
7	14,95	21,50	0,00	9,35	31,78	13,08	0,00	3,74	5,61
8	9,09	19,58	0,00	3,50	28,67	22,38	0,00	6,29	10,49

Anexo III: Análise PRIMER.

Profundidade (cm)	S	N	d	J'	H'(loge)	1- Lambda'	N2
50	11	100	2,17	0,74	1,76	0,75	3,91
60	11	100	2,17	0,80	1,92	0,79	4,62
70	11	100	2,17	0,77	1,85	0,78	4,38
80	11	100	2,17	0,82	1,97	0,83	5,51
90	15	100	3,04	0,75	2,04	0,83	5,59
100	13	100	2,61	0,79	2,02	0,83	5,56
110	14	100	2,82	0,79	2,08	0,83	5,66
120	14	100	2,82	0,75	1,98	0,80	4,83
130	15	100	3,04	0,70	1,88	0,77	4,15
140	13	100	2,61	0,61	1,56	0,63	2,68
150	14	100	2,82	0,58	1,52	0,61	2,52
160	13	100	2,61	0,62	1,58	0,64	2,73
170	15	100	3,04	0,86	2,33	0,89	8,76
180	13	100	2,61	0,87	2,23	0,88	7,97
190	13	100	2,61	0,90	2,31	0,90	8,95
200	13	100	2,61	0,88	2,26	0,88	8,01
210	12	100	2,39	0,81	2,02	0,83	5,59
220	14	100	2,82	0,76	2,00	0,82	5,31
230	13	100	2,61	0,85	2,19	0,87	7,30
240	15	100	3,04	0,80	2,16	0,86	6,70
250	12	100	2,39	0,83	2,05	0,85	6,23
270	12	100	2,39	0,90	2,24	0,89	8,10
280	14	100	2,82	0,81	2,15	0,86	6,68
290	10	100	1,95	0,86	1,98	0,84	5,97
300	11	100	2,17	0,90	2,16	0,87	7,19
310	11	100	2,17	0,89	2,13	0,87	7,24
320	7	100	1,30	0,95	1,84	0,84	5,83

Anexo III: Continuação.

Profundidade (cm)	S	N	d	J'	H'(loge)	1- Lambda'	N2
330	15	100	3,04	0,79	2,14	0,85	6,22
340	3	100	0,43	0,95	1,04	0,63	2,67
350	2	100	0,22	1,00	0,69	0,51	2,00
390	14	100	2,82	0,85	2,23	0,88	7,71
400	13	100	2,61	0,84	2,14	0,86	6,54
410	13	100	2,61	0,81	2,08	0,84	6,07
420	12	100	2,39	0,84	2,09	0,85	6,28
430	11	100	2,17	0,88	2,11	0,86	6,77
440	5	100	0,87	0,88	1,41	0,72	3,46
450	13	100	2,61	0,91	2,35	0,90	8,89
460	2	100	0,22	1,00	0,69	0,51	2,00
470	11	100	2,17	0,84	2,03	0,86	6,53
480	12	100	2,39	0,85	2,11	0,87	7,01
500	9	100	1,74	0,82	1,80	0,81	4,98
510	15	100	3,04	0,79	2,13	0,85	6,20
520	15	100	3,04	0,81	2,20	0,86	6,69
530	12	100	2,39	0,87	2,17	0,88	7,50
540	13	100	2,61	0,79	2,02	0,84	5,92
550	13	100	2,61	0,80	2,05	0,83	5,58
560	13	100	2,61	0,80	2,05	0,84	5,95
570	12	100	2,39	0,73	1,81	0,80	4,73
580	13	100	2,61	0,70	1,79	0,77	4,20
590	13	100	2,61	0,78	2,01	0,84	5,86
600	9	100	1,74	0,79	1,75	0,79	4,64
610	8	100	1,52	0,80	1,67	0,79	4,52
620	11	100	2,17	0,70	1,67	0,77	4,17
630	9	100	1,74	0,68	1,50	0,73	3,64
640	12	100	2,39	0,65	1,62	0,76	3,97

Anexo III: Continuação.

Profundidade (cm)	S	N	d	J'	H'(loge)	1- Lambda'	N2
650	10	100	1,95	0,63	1,46	0,72	3,52
660	10	100	1,95	0,69	1,59	0,75	3,94
670	10	100	1,95	0,75	1,74	0,79	4,53
680	6	100	1,09	0,77	1,39	0,73	3,56
690	8	100	1,52	0,66	1,38	0,70	3,28
700	7	100	1,30	0,46	0,89	0,45	1,80
710	7	100	1,30	0,45	0,88	0,53	2,11
720	4	100	0,65	0,39	0,54	0,29	1,40

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Rua da Mãe de Deus

9500-321 Ponta Delgada

Açores, Portugal