

M
S
C
M
S
C

Os Tardígrados como Descritores de Impacte de Fogos Florestais: Ensaio Preliminares

Sofia Resende Gonçalves

Dissertação de Mestrado em Ecologia, Território e Ambiente
apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
em Biologia

2013

M

S

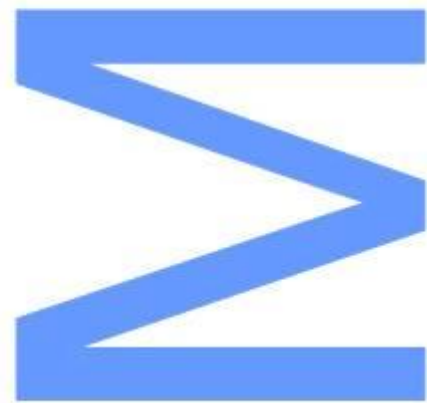
C

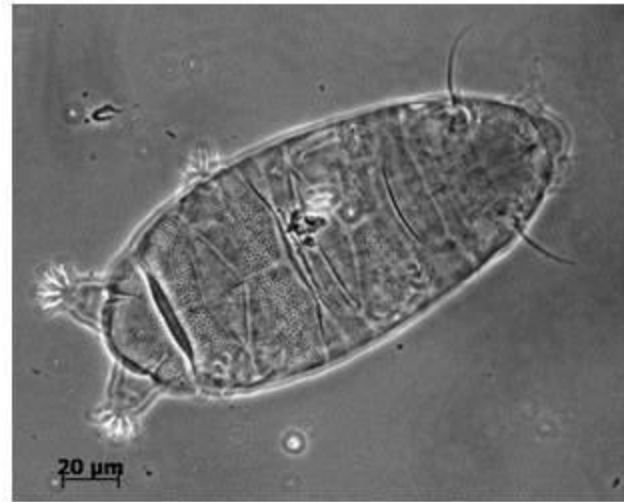


Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____ / ____ / ____



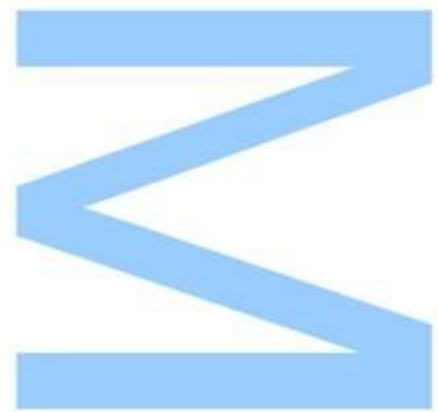


Os Tardígrados como Descritores de Impacte de Fogos Florestais: Ensaio Preliminares

Sofia Resende Gonçalves
Mestrado em Ecologia, Ambiente e Território
Departamento de Biologia
2013

Orientador

António Paulo Fontoura Pinheiro de Magalhães, Professor Associado,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



*“Too see the world in a grain of sand,
And a heaven in a wild flower,
Hold infinity in the palm of your hand,
And eternity in a hour”*

William Blake

Agradecimentos

As minhas primeiras palavras de agradecimento são para o meu orientador, o Professor Doutor António Paulo Fontoura, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pela enorme paciência, que teve para comigo (a minha distração não é fácil de gerir), pelo acompanhamento, dedicação e pelos ensinamentos que me ofereceu. Foi sempre um prazer aprender com ele.

Aos professores que tive na minha vida académica, por me terem indicado sempre o melhor caminho.

Aos meus pais, pelo apoio financeiro e quererem sempre mais de mim. À minha mãe, pelo apoio incondicional e amor nas fases difíceis. Ao meu pai, por me ajudar sempre a ter os pés na terra, mas sem nunca deixar de querer mais de mim. À minha família, sou o que sou hoje graças a eles. Aos meus tios que me abrigaram nestes últimos anos.

Ao meu namorado, André Correia. Agradeço ter-me aturado nos dias difíceis, e ter-me obrigado a continuar em frente nos momentos de preguiça e medo.

Aos meus colegas da Faculdade de Ciências. Aos meus colegas de Licenciatura e os que continuaram comigo no mestrado. Aos colegas novos de mestrado. À Sofia Santos, Joana Santos, Sandra Lopes, Ricardo Pinto, Juliana Oliveira, Pedro Andrade. Pelas conversas, acompanhamento, companheirismo e apoio nas horas difíceis.

Às minhas amigas de longa data, Mónica Amorim, Joana Rodrigues, Marta Novo. Longe, mas bem perto.

E a todos, que na minha vida, direta ou indiretamente, participaram para que eu chegasse onde estou hoje.

Resumo

Os fogos florestais são um grande fator de perturbação dos ecossistemas e uma das principais causas de destruição dos habitats naturais. Portugal, onde ardem anualmente áreas muito extensas, é particularmente afetado por este problema. Nos últimos anos, o conhecimento sobre o impacto dos fogos florestais aumentou consideravelmente. Na verdade, a forma como se processa a sucessão da fauna do solo após um incêndio é um tópico relativamente bem estudado. Contudo, a maioria destes estudos trata apenas de espécies macroscópicas, implicando grandes fragilidades na elaboração de estratégias de gestão e conservação. Para muitos grupos zoológicos, incluindo os tardígrados, o efeito da perda de habitat está subavaliado. Os tardígrados são micrometazoários (comprimento do corpo de cerca de 500 μm) muito comuns nos ecossistemas terrestres (manta morta, musgos e líquenes). Têm uma capacidade notável de reduzir o metabolismo (criptobiose) que lhes permite sobreviver a condições ambientais extremas (por exemplo, temperaturas muito elevadas e teores de humidade reduzidíssimos). Por isso, o seu potencial para poderem ser utilizados como descritores de impacto ambiental de fogos florestais parece ser muito interessante. Assim, realizamos uma sequência de experiências com o objetivo de compreender a resposta dos tardígrados ao fogo. Neste trabalho esperamos: 1) detetar eventuais mudanças na diversidade, estrutura e dinâmica das comunidades à medida que o tempo após o fogo decorre; 2) compreender como os tardígrados colonizam uma área queimada, e 3) avaliar a capacidade de sobrevivência de uma comunidade de tardígrados numa simulação de fogo.

Para cumprir o primeiro objetivo, recolheram-se musgos e líquenes de 3 áreas aridas em anos diferentes (2012, 2011 e 2010), localizadas no distrito de Viana do Castelo. Adicionalmente, no local ardido em 2012, realizaram-se amostragens mensais (janeiro a março). Em zonas adjacentes aos locais queimados obtiveram-se as amostras de controlo. Para o segundo objetivo, em Amarante, queimaram-se musgos na Natureza de forma controlada e propositada. As comunidades de tardígrados presentes no musgo pré-queima (amostras controlo) foram comparadas com as comunidades presentes na mesma porção de musgo após a recuperação do mesmo, cinco meses depois. Para completar o terceiro objetivo, colheram-se musgos e líquenes em dois locais de amostragem na Serra do Gerês. Os musgos foram submetidos a diferentes temperaturas. Uma parte desses musgos, o controlo, foi mantida à temperatura ambiente. As restantes quatro partes foram queimadas numa mufla, respectivamente, a 150° C, 190 °C, 225 °C e 300 °C. Nas três tarefas

realizadas, os tardígrados foram extraídos, contados e montados em lâminas para microscopia óptica em líquido de Hoyer, para posterior identificação ao nível das espécies. As medidas do comprimento do corpo dos tardígrados e fotomicrografia foram obtidas com um microscópio de contraste de fase, equipado com câmara digital. As comunidades de tardígrados foram caracterizadas através de parâmetros estruturais, nomeadamente os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e de Pielou (J'). Para a interpretação dos resultados recorreu-se a uma Análise em Componentes Principais. Eventuais variações entre os parâmetros das comunidades foram estatisticamente analisadas através de um ANOVA *two way F-test*. A associação entre as medianas do comprimento do corpo dos tardígrados e as diferentes temperaturas a que foram submetidas, foi avaliada através de métodos não paramétricos (Kruskall-Wallis e Mann-Whithney *U-test*)

Do ponto de vista taxonómico, três espécies de tardígrados constituíram novos registos para a fauna portuguesa: *Diphascion (Diphascion) bullatum* Murray, 1905; *Diphascion (Diphascion) oculatum* Murray, 1906, e *Hypsibius dujardini* Doyère, 1840. Outra espécie registada do género *Thullinius* Bertolani 2003, será descrita como nova para a ciência. Relativamente ao impacte do fogo, os resultados demonstraram que os tardígrados são capazes de sobreviver a temperaturas superiores a 225 °C e que são os primeiros colonizadores efetivos dos ecossistemas queimados. Os resultados também mostraram que outras espécies de tardígrados, que se distribuem por dispersão passiva de áreas adjacentes, poderão constituir uma fonte importante de recolonização exógena.

A informação obtida neste estudo é ainda escassa e por isso, são necessários mais estudos acerca da eco-etologia dos tardígrados. Contudo, estes resultados preliminares sugerem que eles apresentam, num futuro próximo, uma enorme potencialidade para serem usados como descritores do impacte de fogos florestais.

Palavras-chave: fogos florestais; Tardigrada; microfauna de solo; impacte de fogos florestais; biodiversidade; Portugal.

Abstract

Forest fires are an important destructive factor in the terrestrial ecosystems with severe consequences on biodiversity loss. Portugal, where large areas are burned each year, is a country particularly affected by this problem. Over the years, our knowledge about the impact of forest fire has increased considerably. Actually, faunal soil succession after fire is a relatively well studied topic. However, the majority of the studies is fragmented or deals with macroscopic species which is a significant weakness for the elaboration of conservation strategies and management plans. For many other zoological groups, tardigrades included, effects of habitat loss are under evaluated. Tardigrades are a group of microscopic animals (body length about 500 μm) very common on terrestrial ecosystems, namely in litter, mosses and lichens. They have interesting abilities to survive in extreme environmental conditions (e.g. high temperatures and low humidity levels), resisting in a cryptobiotic state. So their potential use as descriptors of forest fire impact seems to be very promising. With this final purpose, we have started a series of experiments aiming to understand the response of tardigrades to fire. In this work we want: 1) to detect eventual changes on diversity, structure and dynamics of the community along the time after a forest fire; 2) to understand how tardigrades colonize a burned area, and 3) to assess the survival capabilities of a tardigrade community submitted to a fire simulation.

To accomplish the first objective, mosses and lichens were collected from 3 sampling sites burned in different years (2010, 2011 and 2012) located in the region of Viana do Castelo. In the 2012 burned area additional monthly samples (January to March) were carried out. Control samples obtained in the neighboring unburned areas were also performed. For the second objective, some mosses were burned in place, in a purposeful and controlled way, at Amarante. The tardigrade community present in the pre-burned mosses (control samples) was compared with the community present in the same moss cushion after its recovery, five months later. To accomplish the third objective, mosses and lichens were collected from 2 sampling sites in Serra do Gerês. Moss cushions were submitted to different temperatures. One of these cushions, the control, was kept at air temperature. The remaining four cushions were burned, in a muffler respectively at 150° C, 190° C, 225° C and 300° C. In all the three tasks tardigrades were extracted, counted and mounted on slides in Hoyer's medium for further identification to the species level. Measurements and photomicrographs were made using a phase contrast microscope equipped with digital camera. Variation

among tardigrade communities was assessed by means of Principal Component Analysis. Shannon-Wiener (H') and Pielou (J') diversity indices were also computed. Variation of community parameters were statistically analysed using an Anova two way F-test. The equality of medians of the body length among the tardigrade populations submitted to different temperatures was tested by means of non parametric methods (Kruskal Wallis or Mann-Whithney U-test).

As a taxonomic result of this work, three tardigrade species are new records for the Portuguese fauna: *Diphascon (Diphascon) bullatum* Murray, 1905; *Diphascon (Diphascon) oculatum* Murray, 1906, and *Hypsibius dujardini* Doyère, 1840. Another recorded species from the genus *Thulinus* Bertolani 2003, will be described as new for Science. Regarding the impact of the fire, the results showed that tardigrades are able to survive at temperatures higher than 225° C and that they are the first effective colonizers of burnt ecosystems. The results also showed that other tardigrade species, spreading by passive dispersal from neighboring areas are an important “exogenous” recolonization source.

The amount of data obtained in the aim of this study is still scarce and further studies about the eco-ethology of tardigrades are needed. However, these promising preliminary results suggest that they have, in a near future, an enormous potentiality to be used as descriptors of the impact of forest fires.

Key-words: forest fire; Tardigrada; soil microfauna; forest fire impact; biodiversity; Portugal.

Índice

Agradecimentos	6
Resumo	7
Abstract	9
Índice	11
Lista de tabelas.....	13
Índice de Figuras	14
Lista de Abreviaturas.....	15
1.Introdução	16
1.1.A problemática dos fogos florestais em Portugal.....	16
1.2.Tardígrados como descritores do impacte dos fogos florestais.....	18
1.3.Objetivos.....	21
1.4.Plano geral do trabalho	22
2.Materiais e Métodos	24
2.1.Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo.....	24
2.1.1.Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes.....	24
2.1.2.Extração, triagem e identificação dos tardígrados	25
2.1.3.Parâmetros estruturais das comunidades.....	26
2.1.4.Análise Estatística	28
2.2.Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada	29
2.2.1.Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes.....	29
2.2.2.Tratamento das amostras	31
2.3.Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo	31
2.3.1.Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes.....	31
2.3.2.Tratamento das amostras	32
2.3.3.Análise Estatística	32
3.Resultados	34
3.1.Notas Taxonómicas.....	34
3.2.Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo.....	35
3.2.1.Recolonização de locais incendiados	35
3.2.2.Evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo.....	37
3.3.Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada	42
3.4.Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo	43

4.Discussão.....	46
4.1. Notas acerca das espécies tardígrados identificados	46
4.2. Análise das Comunidades de tardígrados	46
4.2.1. <i>Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo</i>	<i>46</i>
4.2.2. <i>Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada</i>	<i>49</i>
4.2.3. <i>Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo.</i>	<i>50</i>
5.Considerações finais	52
6.Referências Bibliográficas	54
7.Anexos.....	63

Lista de tabelas

Tabela 1 – Número de ignições (fogachos e Incêndios) no distrito de Viana do Castelo de 2006 a 2010.....	24
Tabela 2 – Área ardida (ha) no distrito de Viana do Castelo de 2006 a 2010.....	24
Tabela 3 – Caracterização das sub amostras obtidas em musgos em Amarante.....	31
Tabela 4 – Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos nas amostras controlo e do local incendiado nas três estações de amostragem.....	36
Tabela 5 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras dos locais controlo (C) e dos locais incendiados (I) em cada estação de amostragem.....	36
Tabela 6 – Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos nas amostras controlo e do local incendiado na estação de amostragem #3.....	40
Tabela 7 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras controlo (C) e nas amostras do local incendiado(I), da estação#3.....	40
Tabela 8 – Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos na amostra controlo C2 e na amostra queimada Q.....	43
Tabela 9 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras controlo (C1 e C2) e nas amostras do local queimado (Q).....	43
Tabela 10 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras submetidas a diferentes temperaturas para a estação G1.....	44
Tabela 11 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras submetidas a diferentes temperaturas para a estação G2.....	45
Tabela 12 – Valores dos testes não-paramétricos Mann Whitney e Kruskal-Wallis....	45

Índice de Figuras

Figura 1 – Localização das estações de amostragem E#1 2 E#2 – Anha e E#3 – Chafé.....	27
Figura 2 – Localização das estações de amostragem em Amarante.....	30
Figura 3 – Localização das estações de amostragem G1 e G2, na Serra do Gerês...	33
Figura 4 – Ordenação das estações de amostragem no plano das duas primeiras componentes principais.....	37
Figura 5 - Projeção dos grupos taxonómicos (variáveis) no plano das duas primeiras componentes principais.....	38
Figura 6 – Contributo relativo das variáveis, baseado na correlação entre elas, para a ordenação no plano das componentes principais dos diferentes locais.....	39
Figura 7 – Ordenação das amostras de janeiro, fevereiro e março da estação #3 no plano das duas primeiras componentes principais.....	41
Figura 8 - Projeção dos grupos taxonómicos (variáveis) no plano das duas primeiras componentes principais.....	41
Figura 9 – Contributo relativo das variáveis, baseado na correlação entre elas, para a ordenação no plano das componentes principais dos diferentes locais estudados em diferentes meses de 2013.....	42
Figura 10 – Média do número de sobreviventes com desvio padrão, nos diferentes grupos de temperatura, em cada estação de amostragem.....	44

Lista de Abreviaturas

ANOVA – Análise de Variância

ICNF – Instituto de Conservação Nacional e das Florestas

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

RNAP – Rede Nacional de Áreas Protegidas

SIC – Sítio de Importância Comunitária

ZPE – Zona de Proteção Especial

1.Introdução

1.1. A problemática dos fogos florestais em Portugal

Atualmente, uma das grandes ameaças que a biodiversidade enfrenta é a perda de habitats (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Os fogos florestais, além de constituírem uma forte ameaça à economia nacional, são uma das principais causas de destruição do habitat e, por isso, responsáveis pela perda importante de biodiversidade.

Na Europa, a região do sul que corresponde à região mediterrânea europeia (Portugal, Espanha, França, Itália, e Grécia) é a zona mais afetada por esta problemática. Tendo em conta a densidade de fogos por território de cada país, estes são de fato os mais afetados. Em Portugal, a situação é particularmente grave, sendo dos países mediterrâneos, um dos que apresenta maior densidade de fogo (Torres *et al.*, 2011). Com efeito, o nosso país ocupa uma região geográfica com um clima propício ao desenvolvimento de fogos, sobretudo devido aos longos períodos de estiagem. Por outro lado, trata-se de um país com uma implantação florestal muito importante. De acordo com o último relatório do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (ICNF, 2013a), cerca de 3 154 800 ha, o que corresponde a 35% do território nacional, são terrenos florestais. Os matos e pastagens, também muito suscetíveis ao fogo, ocupam cerca de 32% do nosso território. Note-se que esta área de uso florestal, que tem já em conta os locais incendiados em anos anteriores, tem vindo a diminuir de ano para ano. No ano de 2012, 21% das 21 176 ocorrências registadas corresponderam a incêndios florestais (ICNF, 2012). Apesar de alguns progressos (decrécimo de 12% relativamente à década anterior) que não serão alheios a todos os esforços levados a cabo para combater esta problemática, incluindo a implementação de planos e projetos de educação ambiental especialmente direcionados para a prevenção de incêndios florestais, são queimados todos os anos cerca de 100 000 ha. É ainda interessante referir que a criação da RNAP parece ter contribuído para uma melhoria da situação já que a ocorrência de incêndios em áreas protegidas tem diminuído. A probabilidade de ocorrência de incêndios e a importância da área ardida não são homogêneas no território nacional. O norte é a região mais afetada relativamente ao resto do país, em grande causa devido à sua topografia. Também se verificam oscilações na

probabilidade de ocorrência de incêndios e na dimensão da área ardida, relacionadas com fatores como a altitude, distância de áreas urbanas e agrícolas, valor económico dos terrenos e tipo de vegetação presente (Torres *et al.*, 2011). Estes fatores podem condicionar a velocidade de propagação, a facilidade de deteção, a rapidez de combate, etc., como demonstram os estudos que apontam para esta seletividade do fogo de Carmo *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2009).

As principais causas de fogos florestais em Portugal são bem conhecidas (Ryan, 2002; Gomes, 2006; Viegas *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2011) e, para além da climatologia propícia, podem ser assim resumidas:

- Concentração da população em áreas urbanas ou semiurbanas no litoral e abandono de práticas agrícolas, que, por sua vez, levam ao abandono de usos tradicionais do solo, como a pastorícia. Com efeito, a diminuição do sub-coberto vegetal efetuado pelo gado nas pastagens, reduz consideravelmente a carga combustível.

- Má gestão florestal nomeadamente através da implementação de monoculturas florestais de pinho e eucalipto, espécies altamente “combustíveis”, deficiente limpeza das matas e problemas na gestão das parcelas florestais (note-se que, em muitos casos, é quase impossível efetuar a identificação dos proprietários dos terrenos).

- Falta de recursos, quer sejam recursos humanos (em número e com grau de instrução adequado), monetários ou logísticos. Estudos internacionais demonstram que a proteção nacional contra os incêndios florestais é atenta e esforçada mas que a defesa é deficiente, devido a falta de comunicação, má chefia das brigadas, logística fraca ou mínima que é agravada nos locais onde ocorrem mais incêndios que são zonas com poucos e maus acessos e topografia acentuada onde os incêndios facilmente se propagam.

- Piromaníacos e falta de penalização dos culpados.

Como consequências, os incêndios ocorrem frequentemente e em larga escala, acarretando perdas humanas, de infraestruturas e de biodiversidade. A prevenção é realizada mas ineficazmente, tanto para a própria prevenção dos incêndios como para a preservação da biodiversidade. Quartau (2009) avança fortes críticas à legislação relativa à proteção da biodiversidade florestal, uma vez que os procedimentos de prevenção nela considerados, se baseiam na limpeza de todo o coberto vegetal do solo, o que leva a perdas imensuráveis na flora e fauna do solo, nomeadamente nos

artrópodes. Por isso, ocorrem frequentemente pragas devido à falta dos inimigos naturais que foram retirados do seu ecossistema natural.

O conhecimento sobre os efeitos dos fogos florestais na fauna é muito escasso, sobretudo a nível de invertebrados, eventualmente as formas mais atingidas devido ao seu reduzido tamanho e mobilidade (McCullough *et al.*, 1998; Vicente, 2010; Pryke e Samways, 2012). A recuperação de um ecossistema após um incêndio parece depender em grande escala da intensidade e severidade desse fogo. Contudo, os resultados dos poucos estudos realizados com invertebrados são por vezes controversos. Enquanto alguns trabalhos indicam que um incêndio aumenta a diversidade de artrópodes (Andersen e Müller, 2000; Gandhi *et al.*, 2001), outros apontam para uma diminuição (Dress e Boerner, 2004; Malmström, 2010), e ainda alguns apontam que a razão da diminuição da diversidade e abundância ser devido a outros fatores que não o incêndio (Vasconcelos *et al.*, 2009). A recuperação das comunidades de invertebrados dependerá, também, do tipo de grupo de invertebrado em estudo e como se encontrava a comunidade pré-incêndio.

Assim, a compreensão sobre a forma como o fogo afeta a biodiversidade é fundamental para a elaboração de estratégias de conservação. Em particular, como bem referem New *et al.* (2010), Pryke e Samways (2012) e Vicente *et al.* (2013), é importante estudar as comunidades de pequenos invertebrados no pré e pós-fogo, compreender como evolui a sucessão temporal dessas comunidades ou como são recolonizados os locais queimados. Face ao que acima foi dito, em Portugal, que pertence a um dos 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade com inúmeras espécies endémicas, esse conhecimento é urgente.

1.2. Tardígrados como descritores do impacto dos fogos florestais

Os tardígrados, micrometazoários de pequenas dimensões (0,05 a 1,5 mm), são, sem dúvida, um dos grupos zoológicos menos conhecidos. A aparente falta de interesse económico, reduzido tamanho e dificuldades técnicas de estudo, são apontadas como causas para esta negligência por parte da comunidade científica (Kinchin, 1994; Nelson, 2002).

Foram observados pela primeira vez em 1773, pelo padre e naturalista alemão J.A.E. Goeze que os designou “kleiner wasser bär”, em português “ursos-de-água”. No

entanto, foi L. Spallanzani, em 1776, que os nomeou de “il tardigrado” (“de passo lento”), inspirado na forma como se movimentavam (Rebecchi *et al.* 2007).

Atualmente, o Filo Tardigrada é considerado como sendo um filo independente, e que juntamente com os filios aparentados Onychophora e Arthropoda, e entre outros filios, formam o grupo Ecdysozoa (Ecdysozoa = animais com ecdises, isto é, crescimento por mudas) (Garey *et al.*, 1999; Nichols *et al.*, 2001; Bertolani *et al.*, 2009). A sua posição na árvore da vida é um fator de discórdia entre vários autores (Schmidt-Rhaesa *et al.*, 1998; Brusca e Brusca, 2003; Pilato *et al.*, 2005). Os tardígrados podem ser encontrados numa grande variedade de habitats, desde marinhos, dulciaquícolas e limnoterrestres (assim designados porque embora presentes em meio terrestre, necessitam de um determinado teor de humidade para se manterem ativos) (Nelson, 1991).

Os tardígrados são animais celomados e apresentam, de acordo com o plano anelídeo/artrópode, uma simetria bilateral com o cordão nervoso ventral e o glânglio cerebral dorsal (Brusca e Brusca, 2003). O corpo apresenta uma forma de cilindro achatado na parte ventral, com 5 segmentos corporais bem definidos: um segmento cefálico, três do tronco e um segmento caudal (Kinchin, 1994; Miller, 2011). Cada um desses segmentos, excepto o cefálico, possui um par de patas não articuladas, os lobópodes, posicionados ventro-lateralmente e terminando cada um em garras e/ou discos adesivos. Todo este conjunto é coberto por uma cutícula fina quitinosa (Bertolani *et al.*, 2009).

O sistema digestivo é completo (boca, faringe, esófago reto e ânus ou cloaca), sendo o aparelho buco-faríngeo importante para a identificação de espécies (Kinchin, 1994). Não têm aparelho respiratório nem circulatório. Essas funções são realizadas por difusão através da superfície do corpo, com o auxílio de células especiais – glóbulos cavitares - que se movimentam no fluido presente na cavidade celómica (Brusca e Brusca, 2003; Bertolani *et al.*, 2009) e que têm ainda funções de reserva e, eventualmente, também de excreção (Bertolani *et al.*, 2009). Não existem músculos circulares, sendo a locomoção produto da ligação dos vários músculos somáticos à cutícula por diversas estruturas discretas. Algumas espécies possuem fotoreceptores e outras estruturas sensoriais (Kinchin, 1994). De um modo geral, o aparelho reprodutor é constituído por uma gónada dorso-caudal única e gonoducto que se abre numa cloaca ou, nalgumas espécies, num gonoporo separado (Brusca e Brusca, 2003).

Conhecem-se formas dióicas, hermafroditas, em que os indivíduos têm possibilidade de autofecundação, e formas partenogénicas (Pilato, 1979). Nos tardígrados a reprodução partenogénica designa-se telitoquia: não há machos e as fêmeas produzem ovos que não são fecundados e dão origem a novas fêmeas (Kinchin, 1994; Bertolani 2001). A telitoquia, embora leve a uma diminuição da variabilidade genética, não deixa de favorecer a dispersão e colonização de novos meios, pois permite a constituição de novas populações a partir de um só indivíduo. Adicionalmente, permite economia de energia na procura de parceiros sexuais (Pilato, 1979). Os ovos são postos isoladamente e podem ter o *corion* ornamentado com processos mais ou menos complexos, ou então são depositados na velha cutícula no momento da muda. A ornamentação dos ovos constitui uma importante ferramenta taxonómica, pois é diferente de espécie para espécie (Degma, 2010).

O filo Tardigrada compreende cerca de 1100 espécies (Degma *et al.*, 2009-2013), distribuídas por três classes: Heterotardigrada, Mesotardigrada e Eutardigrada. Os Heterotardigrada são caracterizados por possuírem uma cutícula subdividida em placas; cirros cefálicos e papilas sensoriais e, geralmente, quatro garras, dedos ou discos adesivos em cada lobópode. Pelo contrário, nos Eutardigrada a cutícula é geralmente lisa e não subdividida em placas, o bolbo bucal apresenta placóides (barras cuticulares dispostas em fiadas) separados (barras contínuas nos Heterotardigrada), e, em cada lobópode há duas diplogarras (garra com dois ramos, um principal e um secundário). A classe Mesotardigrada, não é considerada por muitos autores como uma 3ª classe. Constituída por uma só espécie duvidosa, *Thermozodium esakii* Rahm, 1937, as espécie tipo foram perdidas e, até aos dias de hoje, não se encontraram novos exemplares que coincidêssem com a sua descrição (Bertolani *et al.*, 2009).

De uma forma geral, os organismos de reduzida mobilidade, como é o caso dos tardígrados, apresentam estratégias adaptativas com elevada importância ecológica, nomeadamente na sua dispersão e sobrevivência em condições ambientais extremas, como por exemplo, os fogos florestais.

Essa estratégia é uma das características mais interessantes neste grupo. Quando em períodos de condições ambientais desfavoráveis, são capazes de reduzir o metabolismo drasticamente, mantendo-se num estado de dormência (*anabiose*) que pode atingir níveis de atividade metabólica não detetáveis (*criptobiose*) (Danks, 1987). De acordo com o tipo de condição desfavorável, a criptobiose pode assumir diferentes formas: anidrobiose (resposta à *secura*); anoxibiose (resposta à falta de oxigénio);

osmobiose (resposta às alterações de pressão) e criobiose (resposta a temperaturas extremamente baixas). Esta capacidade extraordinária surge apenas nos tardígrados limnoterrestres e nas formas marinhas que vivem no litoral, ao contrário dos restantes, que vivem com condições ambientais estáveis (Gaugler, 2002). Desta forma, os tardígrados podem sobreviver à secura extrema, a temperaturas superiores ao ponto de ebulição e inferiores ao ponto de congelamento da água. Também são capazes de resistir a altas concentrações de substâncias tóxicas (álcool absoluto, por exemplo), ao vácuo, a altas radiações, etc. Podem regressar ao estado ativo ao fim de cerca de uma dezena de anos em criptobiose (nunca os mais de 100 anos que alguns relatos fantasiosos indicam) (Wright, 2001; Rebecchi *et al.*, 2007; Islam e Schulze-Mkuch, 2007). Uma vez que a criptobiose é um mecanismo ativo cujo controlo é exógeno, quando cessam os efeitos das condições desfavoráveis, as funções biológicas e fisiológicas do tardígrado retomam de uma forma quase imediata aos níveis normais (Danks, 1987).

Assim, pode esperar-se que os tardígrados, por poderem resistir à secura extrema (anidrobiose) e a temperaturas elevadas, possam vir a ser excelentes descritores de impacte, contribuindo de forma decisiva para a compreensão do efeito dos fogos florestais. A anidrobiose é o tipo de criptobiose mais comum em que a perda de conteúdo de água pode atingir os 95%-99% (Danks, 2000). Além dos tardígrados, há registos de anidrobiose em bactérias (Vreeland *et al.* 2000), nemátodes (Wharton *et al.*, 2008), rotíferos (Guidetti e Jönsson, 2002), alguns artrópodes (Clegg, 2001), e plantas (Shen-Miller *et al.*, 1995; Oliver *et al.*, 1997).

Os estudos sobre a reação dos tardígrados ao fogo florestal são praticamente inexistentes. Malmström *et al.* (2009) referem uma quebra de cerca de 50% na abundância de tardígrados cinco anos após um fogo. Contudo, os tardígrados foram abordados nesse trabalho de uma forma muito grosseira, em conjunto com outros grupos zoológicos. Muito recentemente, Vicente *et al.* (2013) realizaram, em Portugal, um trabalho pioneiro com o intuito de compreender as alterações produzidas pelos fogos florestais na dinâmica das populações de tardígrados, bem como nos seus níveis de diversidade genética.

1.3. Objetivos

Perante a atual falta de estudos sobre as consequências dos fogos florestais nas comunidades de tardígrados limnoterrestres, decidiu-se incrementar o

conhecimento neste tema. Deste modo, neste trabalho tentou-se estudar a resposta dessas comunidades face ao fogo florestal, tendo em vista averiguar as suas potencialidades na avaliação de impacte ambiental. Naturalmente que também se espera que a informação obtida possa contribuir para o incremento de conhecimentos sobre a fauna de tardígrados portuguesa, nomeadamente no que diz respeito a inventariação de espécies e sua distribuição geográfica.

Em particular procurou-se atingir os seguintes objetivos:

- Avaliar a capacidade de sobrevivência das comunidades de tardígrados ao fogo florestal e distinguir eventuais diferenças específicas.

- Compreender o processo de recolonização de áreas queimadas, procurando conhecer a origem das espécies colonizadoras, a velocidade de colonização e a forma como se dá a evolução temporal da estrutura das comunidades.

1.4.Plano geral do trabalho

Ao planificar este trabalho e tendo em conta os diferentes objetivos supramencionados, entendeu-se por bem subdividi-lo em três partes correspondentes a outras tantas tarefas. Cada uma destas tarefas foi desenvolvida de forma independente das restantes, embora tivessem decorrido em simultâneo.

Assim, na parte I, estudaram-se as comunidades de tardígrados que colonizaram áreas ardidas de Viana do Castelo em diferentes datas, 2010 e 2011, na localidade de Anha, e 2012, em Chafé. Em cada um destes locais comparou-se a estrutura das comunidades de tardígrados que colonizaram locais ardidos com as comunidades presentes em locais adjacentes e que foram poupados à ação das chamas. Estudou-se, também, para a área ardida em 2012, a evolução temporal da comunidade de tardígrados após um fogo recente. Para o efeito, analisou-se a composição e os parâmetros estruturais das comunidades muscícolas ao longo de 3 meses do inverno/primavera de 2013.

A parte II, foi destinada ao estudo da recolonização de musgos queimados. Contudo, contrariamente ao que aconteceu na parte I, os musgos foram propositadamente queimados, tendo-se esperado pela sua recuperação (5 meses). A informação obtida baseou-se na comparação das comunidades de tardígrados existentes antes de queima (controlo) e depois da queima. Esta parte do trabalho decorreu em Amarante (novembro a abril de 2013).

Na parte III, tentou-se avaliar a capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo. Em condições experimentais, comparou-se a sobrevivência de tardígrados presentes em amostras de musgos provenientes do Gerês (outubro de 2012) queimados, em mufla, a diferentes temperaturas (150, 190, 225 e 300° °C).

Assim, no capítulo 2 são apresentadas e descritas as metodologias utilizadas para concretizar os estudos relativos a todas as partes do trabalho, enquanto os resultados são apresentados no capítulo 3.

O capítulo 4 é destinado à discussão dos resultados, efetuando-se uma tentativa de análise integrada.

Finalmente apresentam-se as considerações finais (capítulo 5), bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

2. Materiais e Métodos

2.1. Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo

2.1.1. Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes

As amostras de musgos e líquenes utilizadas neste trabalho eram provenientes da região de Viana do Castelo, mais propriamente das localidades de Anha e Chafé. O distrito de Viana do Castelo, no noroeste da Península Ibérica, está inserido na Região Biogeográfica Atlântica. A região é marcada pelo Rio Lima, classificado como SIC e caracterizada por manchas humanizadas, mas também por manchas dispersas de agrupamentos florestais e matos (ICNF, 2013b). Nesta região, os fogos são um grande fator de perturbação, registando-se um grande número de ocorrências e uma área ardida considerável (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Número de ignições (fogachos e Incêndios) no distrito de Viana do Castelo de 2006 a 2010 (ICNF, 2013e).

	2006	2007	2008	2009	2010
Fogachos	679	844	463	1365	1368
Incêndios	362	338	124	512	736
Total	1041	1182	581	1877	2104

Tabela 2 – Área ardida (ha) no distrito de Viana do Castelo de 2006 a 2010 (ICNF, 2013e).

	2006	2007	2008	2009	2010
Povoamento	3800,1	367,8	453,6	1088,8	6408,7
Mato	11909,6	1598,7	352,2	4767	17837
Espaços Florestais	15709,7	1966,5	809,8	4855,9	24245,7

A seleção dos locais de amostragem foi efetuada com base na informação relativa ao histórico de fogos florestais ocorridos na região, fornecida pelo Gabinete Técnico Florestal da Câmara Municipal de Viana do Castelo. Assim, escolheram-se três estações de amostragem (Figura 1):

- Estação #1, em Anha, onde ocorreu um incêndio a 11 de abril de 2010 (41° 39' 29" N; 8° 46' 33" W).
- Estação #2, em Anha, onde ocorreu um incêndio a 9 de agosto de 2011 (41° 39' 44" N; 8° 46' 44" W).
- Estação #3, em Chafé, onde ocorreu um incêndio a 29 de julho de 2012 (41° 38' 36" N; 8° 48' 52" W)

Em cada estação de amostragem, colheram-se duas amostras de material vegetal (musgos e líquenes), uma localizada num ponto ardido e outra, de controlo, obtida num ponto contíguo não atingido pelo fogo. Teve-se sempre o cuidado de que os dois pontos de amostragem fossem tão próximos quanto possível (nunca a mais de 5 metros um do outro). Para isso, recorreu-se à análise visual da vegetação e à informação fornecida pelo Gabinete Técnico Florestal da Câmara Municipal de Viana do Castelo.

As colheitas decorreram no dia 12 de janeiro de 2013. Cada amostra era composta por aproximadamente 30 a 40 g de musgos e líquenes retirados manualmente do substrato em que se encontravam, que em todas as amostras era solo. As amostras foram armazenadas em sacos de plástico devidamente etiquetados e transportadas, de imediato, para o laboratório. No laboratório, foram colocadas em papel absorvente e secas à temperatura ambiente. Depois de completamente secas foram de novo armazenadas até ao momento da extração dos tardígrados.

Para o estudo da evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo, obtiveram-se novas subamostras na estação #3, em Chafé, ao longo de três meses, em 12-01-2013, 16-02-2013 e 27-03-2013.

2.1.2.Extração, triagem e identificação dos tardígrados

No laboratório, para cada amostra foram constituídas três subamostras, cada uma com 1,00 g, de material vegetal, perfazendo um total de 18 subamostras.

A extração foi efetuada de acordo com a metodologia descrita por Ramazzotti e Maucci (1983) e Degma (2010). Antes da extração, cada subamostra foi re-hidratada. Para o efeito, foi colocada num gobelé e coberta com água desionizada durante 24 horas, permitindo que os tardígrados abandonem o estado criptobiótico em que se encontravam e regressassem ao estado ativo. O material vegetal, foi então, espremido

e lavado numa bateria de microcrivos Ritcch de malha decrescente (1,18 mm, 250 e 40 μm), para libertar e separar os animais. O material retido nos dois crivos de malha mais apertada foi, de seguida, colocado numa pequena placa de Petri, coberto com água desionizada e observado, com ampliação de 50x, com auxílio de um estereoscópio Wild H equipado com sistema de iluminação de luz fria.

Identificaram-se e contaram-se, também, os indivíduos pertencentes aos grandes grupos de invertebrados que constituem a briofauna, nomeadamente Rotifera, Nematoda, Mollusca, e Acarina. No que diz respeito aos tardígrados, os indivíduos, ovos e exúvias foram contados e transferidos, com auxílio de uma micropipeta, para lâminas de vidro, para montagem em preparação definitiva.

As preparações definitivas foram efetuadas do seguinte modo (Ramazzotti e Maucci, 1983; Kinchin, 1994): numa primeira etapa, a gota de água com os tardígrados ativos foi aquecida, passando a face inferior da lâmina numa chama. Esta operação tem por finalidade diminuir o teor de oxigénio na gota de água, induzindo os tardígrados a entrarem num estado de anoxibiose e, conseqüentemente, a distenderem-se. Depois, com auxílio de papel absorvente, retirou-se o excesso de água da lâmina e, de seguida, adicionou-se uma gota de líquido de montagem, líquido de Hoyer. Nesta fase, é conveniente adicionar uma pequena gota de Iodeto de Potássio para evitar o desenvolvimento de cristais e permitir um melhor contraste (Horning *et al.*, 1978). Colocou-se a lamela e, depois de devidamente etiquetada, procedeu-se à secagem da preparação numa estufa Trade Raypa Drying, a 45 °C, durante 7 a 10 dias. Após a secagem, as preparações foram fechadas com verniz de unhas.

A identificação foi realizada com recurso a um microscópio de contraste de fase Zeiss Axioskop (ampliação 100x, em óleo de imersão), equipado com uma câmara digital e usando o software de imagem Axivision 4.7. Para identificação, até ao nível espécie, sempre que possível, recorreu-se à tabela de identificação de Ramazzotti e Maucci (1983) e a numerosas descrições originais disponíveis em bibliografia.

2.1.3. Parâmetros estruturais das comunidades

Para comparar as espécies presentes nos locais ardidos com as que se encontravam nos locais não afetados, consideraram-se os resultados globais para cada amostra.



Figura 1 – Localização das estações de amostragem E#1 2 E#2 – Anha e E#3 – Chafé (fonte: Googlemaps).

Para além de se ter recorrido à simplificação de informação biológica (número de espécies, indivíduos e abundância relativa), calcularam-se também os seguintes parâmetros estruturais da comunidade:

- Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H')

Este índice de diversidade, apropriado para situações em que a comunidade inteira não pode ser inventariada, é sensível a espécies raras. Quanto maior a percentagem de espécies que são apenas identificadas uma vez numa amostra, maior o valor deste índice. O seu valor exprime a ordem existente num sistema, indicando a importância relativa de cada espécie, e varia entre 0 (quando só temos uma espécie) e um valor máximo correspondente a S espécies (Shannon e Weaver, 1949)

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$$

onde S representa o número de espécies presentes, e p_i a proporção relativa da espécie na amostra (n/N).

- Índice de Pielou (J')

Este índice de regularidade representa a uniformidade da comunidade, realizando uma comparação entre o índice de Shannon-Wiener com a distribuição dos organismos pelos diferentes grupos. A fórmula utilizada é a seguinte (Pinto-Coelho, 2000):

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

onde H' é valor do índice de Shannon-Wiener e $\ln S$ é o valor máximo teórico, sendo S o número de espécies existentes na amostra. O valor deste índice varia entre 0 e 1, quando todos os grupos estão representados com a mesma abundância.

2.1.4. Análise Estatística

Para auxiliar a interpretação dos resultados, foi realizada uma análise em componentes principais (*PCA*), recorrendo ao programa Statistica 11 (Stat-Soft. Inc, 1984-2012). A análise em componentes principais é uma técnica de análise multivariável através da qual é calculada uma matriz de correlações entre os objetos a

classificar. A partir dessa matriz são extraídos valores e vetores próprios. Os valores próprios traduzem a percentagem de variabilidade total expressa para cada uma das componentes principais. Os vetores próprios permitem a representação dos objetos num sistema de eixos ortogonais, que se designam componentes principais. A direção do primeiro eixo (componente 1) corresponde à direção segundo a qual se verifica uma maior dispersão dos objetos, a componente 2, perpendicular à primeira, corresponde à segunda maior dispersão (Sneath e Sokal, 1973). Para a realização da PCA os dados originais foram transformados, $x' = \ln(x+1)$, de modo a reduzir a variância.

2.2.Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada

2.2.1.Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes

Esta parte do trabalho decorreu em Amarante, também no noroeste de Portugal (sub-região do Tâmega). Cerca de 27% da área do concelho de Amarante é classificada como Sítio de Importância Comunitária de Alvão/Marão (ICNF, 2013c).

Escolheu-se uma estação de amostragem (41° 16' 24" N; 8° 03' 48" W) localizada numa floresta mista, dominada por espécies arbóreas do género *Quercus* (Figura 2).

Em musgos que cresciam numa parede granítica vertical foram queimados, no dia 1 de novembro de 2012, três pequenos círculos com cerca de 8 cm de diâmetro. Para o efeito, utilizou-se um pequeno maçarico a gás que produzia uma chama de alta temperatura (chama azul).

Nos locais adjacentes aos círculos queimados (cerca de 5 cm) colheram-se três subamostras de musgo para utilizar como controlo (C1). Em 14 de abril de 2013, o musgo tinha já voltado a invadir os círculos queimados. Assim, nessa data, procedeu-se à colheita desse musgo (Q). Paralelamente, colheram-se três novas subamostras nos locais adjacentes que constituíram um novo controlo (C2).

Obteve-se assim um total de nove subamostras (Tabela 3).

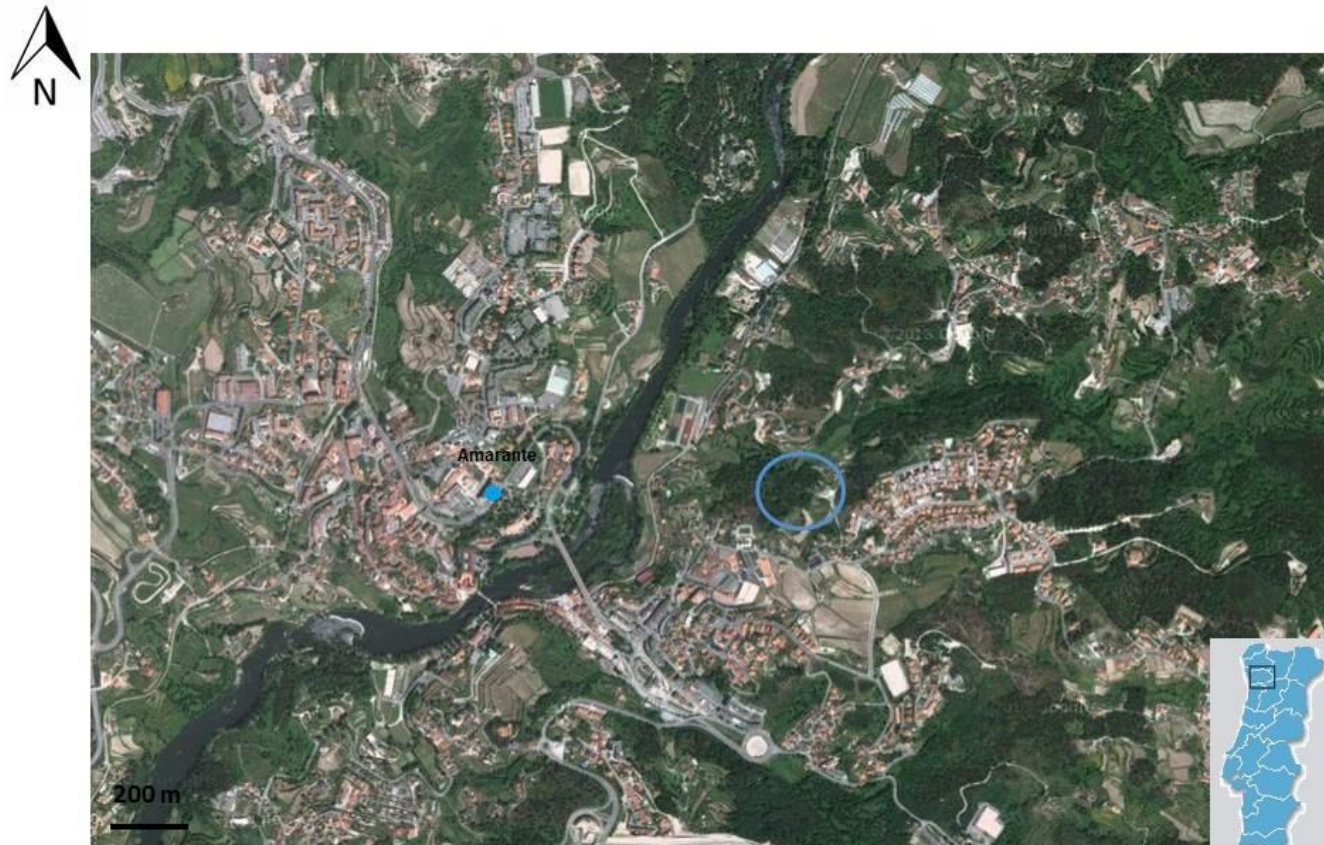


Figura 2 - Localização das estações de amostragem em Amarante (fonte: Googlemaps).

2.2.2. Tratamento das amostras

O tratamento das amostras, quer no que diz respeito à extração, triagem e identificação dos tardígrados e obtenção de informação biológica, foi análogo ao descrito anteriormente em 2.1.

Tabela 3 – Caracterização das subamostras obtidas em musgos em Amarante.

01-11-2012		16-04-2013			
C1		C2		Q	
C1.1	1,40 g	C2.1	1,50 g	Q1	1,41 g
C1.2	1,21 g	C2.2	1,29 g	Q2	1,04 g
C1.3	1,20 g	C2.3	1,13 g	Q3	1,23 g

2.3. Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo

2.3.1. Estações de amostragem e colheita de musgos e líquenes

Esta parte do trabalho foi realizada com amostras de musgos e líquenes colhidos em 5 de outubro de 2012, na Serra do Gerês, no norte de Portugal. Esta serra integra o Parque Nacional da Peneda-Gerês (segundo o Decreto-Lei n.º 384-B/99 de 23 de Setembro de 1999, ZPE do Plano Sectorial da Rede Natura 2000) (INCF, 2013d). Nesta serra predominam bosques de caducifólias e matos de substituição, destacando-se os urzais. O fogo florestal é um dos principais fatores de ameaça (ICNF, 2013 e), sendo potenciado pela presença de combustíveis vegetais, topografia com declives acentuados, acessos rodoviários difíceis, elevada pressão de turistas e também de residentes, que, tradicionalmente, utilizam as queimas para controlar o mato.

Selecionaram-se duas estações de amostragem (Figura 3). A estação G1 (8°7'52"W, 41°47'42"N) numa galeria ripícola densa. Os musgos e líquenes foram recolhidos numa rocha perto dum curso de água. A estação G2 (8°7'54"W, 41°47'44"N) localizava-se também numa galeria ripícola mas pouco densa, correspondendo a um vale bastante acentuado. Nesta estação os musgos e líquenes foram recolhidos da casca de uma resinosa próxima da linha de água.

Para cada amostra constituíram-se cinco grupos, cada um com 3 subamostras de 1 g. Quatro destes grupos foram submetidos, numa mufla VulcanBox Furnace Dentsply Ceramco, a temperaturas crescentes de 150°, 190° 225° e 300 °C. Tentou-

se, deste modo, simular as temperaturas de um incêndio florestal. Considerou-se o limite máximo de 300 °C, porque a esta temperatura os musgos se encontravam já totalmente em cinzas. O quinto grupo, de controlo, foi mantido à temperatura ambiente.

2.3.2. Tratamento das amostras

O processamento e tratamento das amostras, quer no que diz respeito à extração, triagem e identificação dos tardígrados e obtenção de informação biológica foi análogo ao descrito anteriormente em 2.1. Na eventualidade da sobrevivência ser influenciada pelo estado de desenvolvimento, considerou-se importante obter o comprimento do corpo (em μm) dos tardígrados. Estas medidas foram obtidas com recurso ao software de imagem Axivision 4.7 (ampliação 100x, em óleo de imersão).

2.3.3. Análise Estatística

A comparação dos valores de sobrevivência (variância do número de indivíduos) entre os cinco grupos de amostras de cada estação de amostragem foi efetuada com recurso ao teste ANOVA (*two-way*).

A relação entre a capacidade de sobrevivência e a temperatura, baseada no comprimento corporal dos tardígrados foi avaliada através dos testes não-paramétricos de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis. O tipo de teste e as espécies estudadas foram dependentes do número de exemplares medidos.

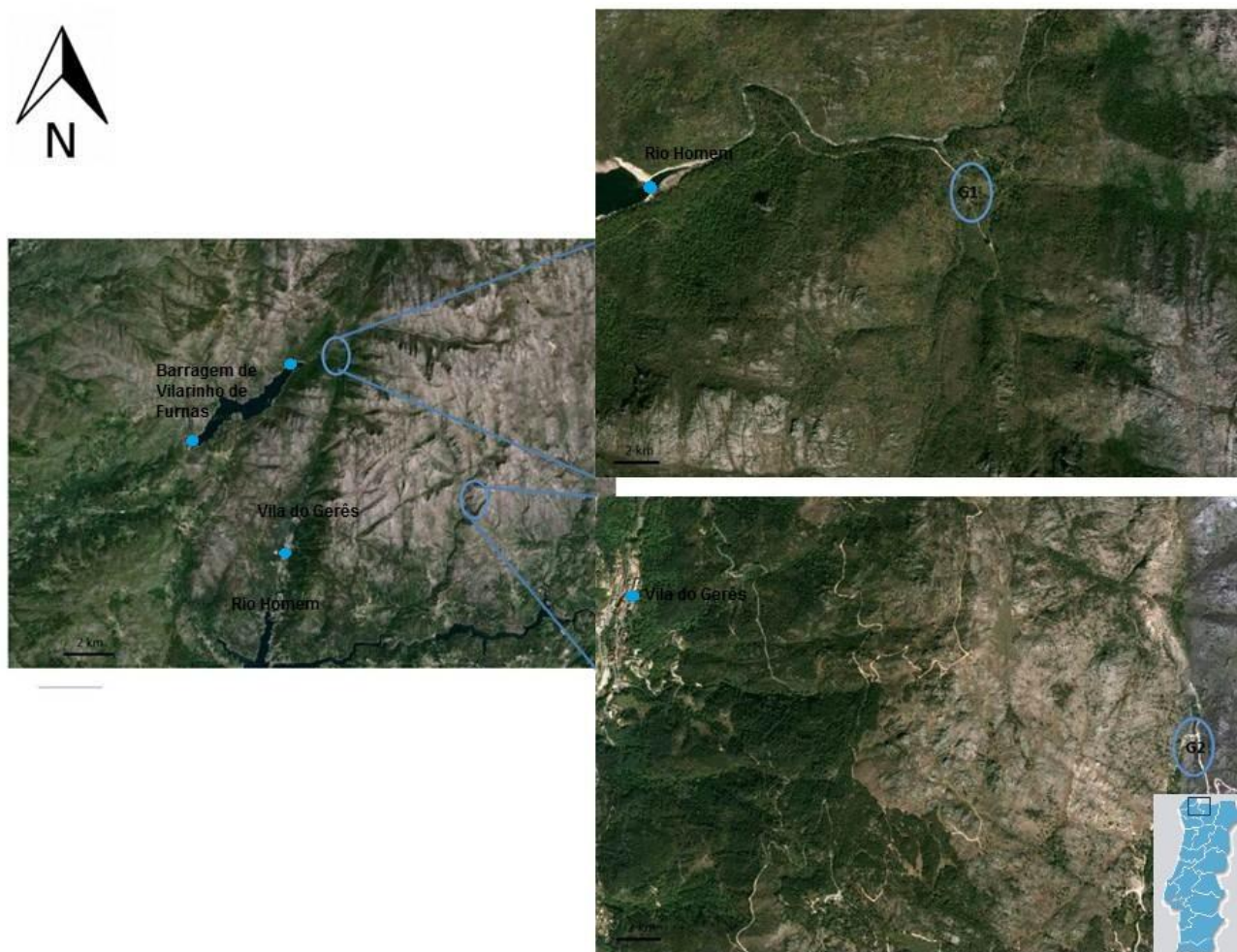


Figura 3 – Localização das estações de amostragem G1 e G2, na Serra do Gerês (fonte: Googlemaps).

3.Resultados

A listagem das espécies de tardígrados identificadas em todos os locais estudados bem como da sua abundância são apresentadas em anexo (Anexo I). O inventário realizado merece algumas considerações. Assim, antes de se apresentarem os resultados relativos às diferentes tarefas realizadas para avaliar o impacto dos fogos florestais sobre as comunidades de tardígrados, avançam-se algumas notas taxonómicas. No que diz respeito aos resultados relativos às restantes tarefas, convém salientar que as diferentes réplicas (3) que constituíam cada uma das amostras foram tratadas em conjunto, devido ao número reduzido de indivíduos presentes em cada uma delas.

3.1.Notas Taxonómicas

Durante a realização deste trabalho foram observados 3526 indivíduos pertencentes a 28 espécies de tardígrados. Nalguns casos (206) não foi possível efetuar a identificação até ao nível espécie, por impossibilidade de visualização de caracteres taxonómicos importantes, seja por se encontrarem em estado *simplex* (estado de pré-muda em que o aparelho bucal, essencial para identificação taxonómica de muitas espécies, é expulso), seja por se encontrarem deficientemente orientados nas preparações definitivas.

É também importante referir que, devido ao facto de nalguns casos não se terem encontrado ovos, a identificação de algumas espécies de Eutardigrada foi efetuada com um critério alargado (*senso lato*). Estão neste caso, espécies do grupo *Macrobiotus hufelandi*, em que se identificou a presença de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834, *Macrobiotus macrocalix* Bertolani e Rebecchi, 1993, *Macrobiotus orcadensis* Murray, 1907 e *Macrobiotus recens* Cuénot, 1932, mas não foi possível quantificar o número de indivíduos de cada uma dessas espécies, e também espécies do género *Minibiotus* (*Minibiotus furcatus* Ehrenberg, 1859, *M. intermedius* Plate, 1888 e *M. orthofasciatus* Fontoura, Pilato, Lisi e Morais, 2009).

No caso de *Milnesium tardigradum*, considerada atualmente um complexo de espécies (Michalczyk *et al.*, 2012), não foi efetuada a distinção das espécies crípticas, tarefa que implicaria um demorado trabalho de análise morfométrica, tendo-se considerado a espécie nominal: *Milnesium tardigradum* Doyère, 1840.

Assim, das 28 espécies identificadas neste trabalho, 3 são citadas pela primeira vez para Portugal, *Diphascon (Diphascon) bullatum* Murray, 1905, presente em Anha (Viana do Castelo), *Diphascon (Diphascon) oculatum* Murray, 1906, no Gerês, e *Hypsibius dujardini* Doyère, 1840, em Chafé e Anha (Viana do Castelo).

Uma outra espécie, *Thulinus sp. nov.*, é nova para a Ciência. Trata-se de uma espécie do género *Thulinus* Bertolani, 2003 que também é agora citado pela primeira vez para Portugal. A descrição desta espécie será objeto de uma publicação futura em revista da especialidade.

3.2.Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo

3.2.1.Recolonização de locais incendiados

Nas estações estudadas foram observados 9 grandes grupos zoológicos. Contudo, apenas 4 grupos, Rotifera, Nemata, Tardigrada e Acari, foram registados com regularidade. Os restantes 5 grupos (Oligochaeta, Collembola, Chironomidae, Araneae e Gastropoda) apareceram muito esporadicamente e em número muito reduzido. É interessante realçar que aqueles 4 grupos, juntamente com Collembola, são considerados como sendo os grupos característicos da briofauna e, por isso, aqueles que, teoricamente, poderão fornecer informações mais precisas sobre a forma como se processa a recolonização de locais incendiados, em particular no substrato constituído por briófitas. Nos grupos mais regulares encontraram-se em maior abundância os que apresentam grandes capacidades de resistência anidrobiótica: Rotifera, Nemata e, obviamente, Tardigrada. Nas três estações de amostragem e para estes três grupos, foi clara a diminuição da abundância entre os locais não influenciados pelo fogo e os locais que foram incendiados (Tabela 4). A redução na abundância foi mais marcada nos Rotifera (entre 80,3 a 96,6%) e mais ligeira nos Tardigrada (onde, com exceção da estação #2 em que a diminuição foi de 89,3%, não ultrapassou os 35,3%).

Também é importante referir que em todos os casos (com a já referida exceção da estação #2 para os tardígrados), e com o afastamento temporal do fogo, a recuperação da abundância foi notória.

No que diz respeito a Tardigrada (Tabela 5), verificou-se que a riqueza específica nos locais incendiados diminuiu relativamente ao controlo de 6 para 4

espécies em Chafé (estação #3), onde ocorreu um incêndio recente (2012) e de 12 para 5 espécies em Anha (estação #2), com incêndio em 2011.

Tabela 4 - Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos nas amostras controlo e do local incendiado nas três estações de amostragem [A – Rotifera; B – Nemata; C – Annelida (Oligochaeta); D – Tardigrada; E - Arthropoda (Collembola); F - Arthropoda (Chironomidae: larva); G - Arthropoda (Araneae); H - Arthropoda (Acari); I - Arthropoda (Gastropoda)].

Taxa	Estação#1		Estação#2		Estação#3	
	C	I	C	I	C	I
Rotifera	992	195	571	47	380	13
Nemata	252	148	346	141	103	4
Annelida (Oligochaeta)	0	0	0	0	7	0
Tardigrada	401	328	1521	162	17	11
Arthropoda (Collembola)	1	0	0	0	0	0
Arthropoda (Chironomidae:larva)	0	0	0	0	3	0
Arthropoda (Araneae)	0	0	0	0	0	1
Arthropoda (Acari)	5	0	7	9	17	3
Arthropoda (Gastropoda)	0	0	0	0	1	0

Pelo contrário, na estação #1, também em Anha, mas onde o fogo ocorreu há mais tempo (2010), observou-se um aumento do número de espécies de 11 no controlo para 18 nos locais adjacentes e que foram queimados. Os restantes parâmetros estruturais da comunidade calculados (Tabela 5) seguiram um padrão semelhante. A diversidade (H') também caiu nos locais incendiados, cerca de 54% e 40%, respetivamente nas estações #2 e #3, enquanto que na estação #1 ocorreu aumento no local incendiado de cerca 62% relativamente ao controlo. A regularidade da comunidade (J') segue o mesmo modelo, com redução nas estações #2 e #3, e aumento de cerca 54% na estação #1.

Tabela 5 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras dos locais controlo (C) e dos locais incendiados (I) em cada estação de amostragem.

	Estação#1		Estação#2		Estação#3	
	C	I	C	I	C	I
Nº Tardígrados	401	328	1521	162	17	11
Riqueza Especifica	11	18	12	5	6	4
Índice de Shannon-Wiener (H')	0,837	2,180	1,226	0,561	1,487	0,886
Índice de Equitabilidade de Pielou (J')	0,349	0,754	0,493	0,348	0,830	0,639

A análise em componentes principais (PCA), mesmo considerando que as duas primeiras componentes apenas expressem cerca de 70 % da variabilidade, corrobora grande parte do que acima se disse (Figuras 4, 5 e 6). Na verdade, a comunidade de tardígrados presente em 2010 (estação #1) nos locais que tinham sido afetados pelo fogo é completamente diferente da comunidade presente no local considerado como de controlo, sendo caracterizada pela presença exclusiva de várias espécies (*Bertolanius weglarskae*; *Isohypsibius josephi*; *Thulinus sp. nov.*; *Diphascion (D.) bullatum* e *Hypsibius convergens*). Por outro lado, as comunidades da estação #3 são muito pobres, não havendo diferenças marcantes entre o controlo e local incendiado com a única exceção a recair sobre o desaparecimento de *Astatumen trinacriae*. Já a estação #2, onde se observou uma redução na abundância de praticamente todos os grupos e espécies, parece ilustrar melhor o impacto do fogo, deixando prever que os tardígrados *Minibiotus orthofasciatus*, *Pseudechiniscus suillus*, *Echiniscus merokensis*, Rotifera e Nemata seriam os grupos com maior sensibilidade.

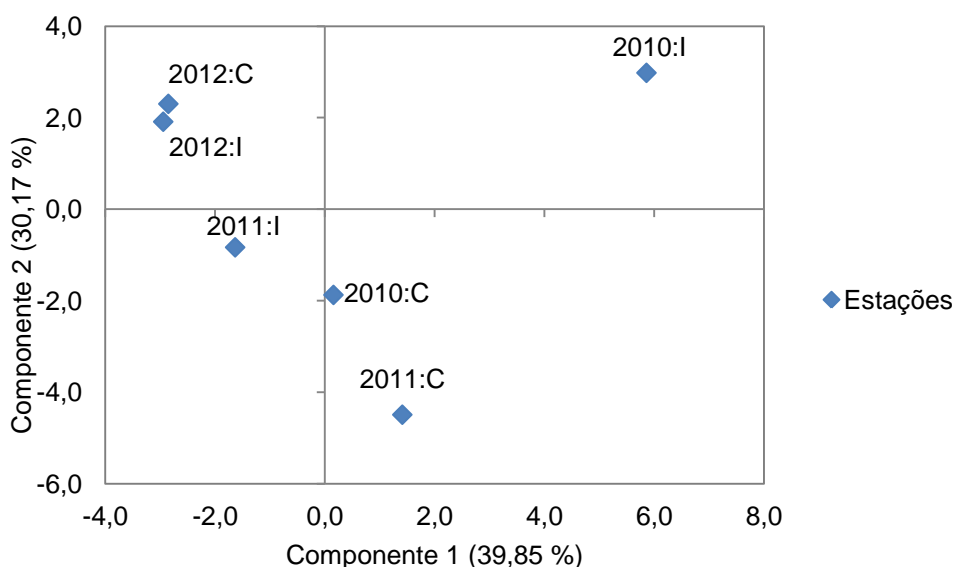


Fig. 4 – Ordenação das estações de amostragem no plano das duas primeiras componentes principais.

3.2.2. Evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo

Os resultados do estudo sobre a evolução temporal (janeiro a março) efetuado na estação #3 com o objetivo de compreender a forma como decorre a recolonização após um incêndio florestal, reforçaram os resultados da tarefa anterior. Assim, quando se compararam os locais ardidos com os de controlo e de uma forma geral (Tabela 6),

os resultados evidenciaram um decréscimo de abundância dos grupos mais representativos (Rotifera, Nemata, Oligochaetas, Tardigrada e Acari).

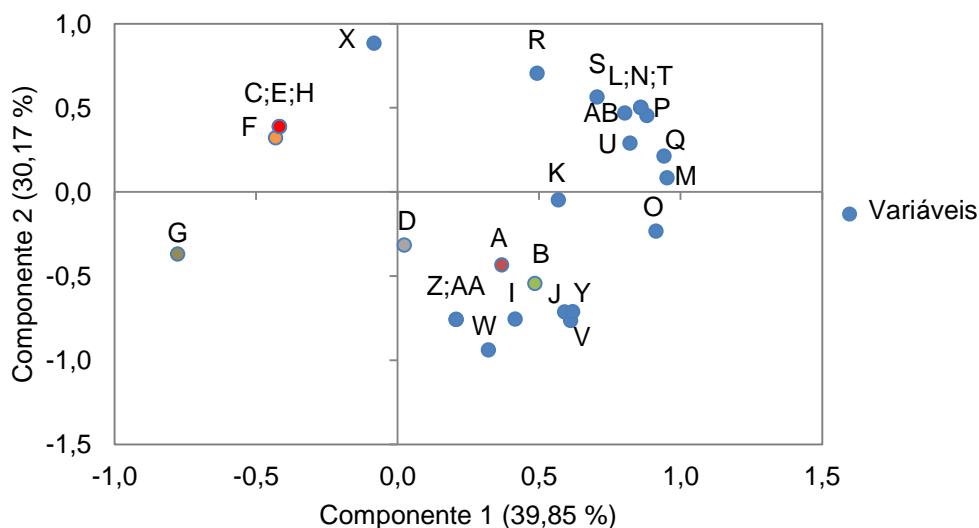


Fig. 5 – Projeção dos grupos taxonómicos (variáveis) no plano das duas primeiras componentes principais (A – Rotifera; B – Nemata; C – Annelida (Oligochaeta); D – Arthropoda (Collembola); E – Arthropoda (Chironomidae: larva); F – Arthropoda (Araneae); G – Arthropoda (Acari); H – Arthropoda (Gastropoda); I – *Echiniscus merokensis*; J – *Pseudechiniscus suillus*; K – *Milnesium tardigradum*; L - *Bertolanius weglarskae*; M - *Hypsibiidae* sp.; N - *Diphascon (Diphascon) bullatum*; O - *Diphascon (Diphascon) pingue*; P - *Hypsibius convergens*; Q - *Hypsibius dujardini*; R - *Astatumen trinacriae*; S - *Ramazottius oberhaeuseri*; T - *Isohypsibius josephi*; U - *Thulinus* sp. nov.; V - *Macrobiotidae* sp.; X - *Macrobiotus harmsworthi*; Y - *Macrobiotus hufelandi*; Z - *Minibiotus furcatus*; W - *Minibiotus intermedius*; AA - *Minibiotus orthofasciatus*; AB - *Paramacrobiotus richtersi*).

A situação foi análoga (Tabela 7) no que diz respeito à comunidade de tardígrados quando analisada em função dos parâmetros estruturais (quebra da diversidade e da regularidade). Contudo, durante os 3 meses de amostragem, os parâmetros foram alterando de uma forma ligeira no sentido de diminuição de diferenças entre o incendiado e o controlo. De facto, a diversidade (H') enquanto que em janeiro apresenta uma diminuição de cerca 40% no incendiado, em março a diminuição é apenas de 4%. O mesmo acontece com a equitabilidade (J'), em janeiro a diminuição no incendiado é de cerca 23% e no mês de março é de cerca 4%.

Mas, estruturalmente, ao longo do tempo as comunidades mantiveram-se muito semelhantes. De facto, a ordenação (PCA) das estações de amostragem no plano das duas primeiras componentes principais (Figuras 7, 8 e 9), apesar de também traduzir uma variabilidade reduzida de cerca de 61%, expressou um gradiente entre os locais ardidos (com valores negativos da componente 1) e os de controlo (valores positivos da componente 1) e não tanto uma diferenciação temporal.

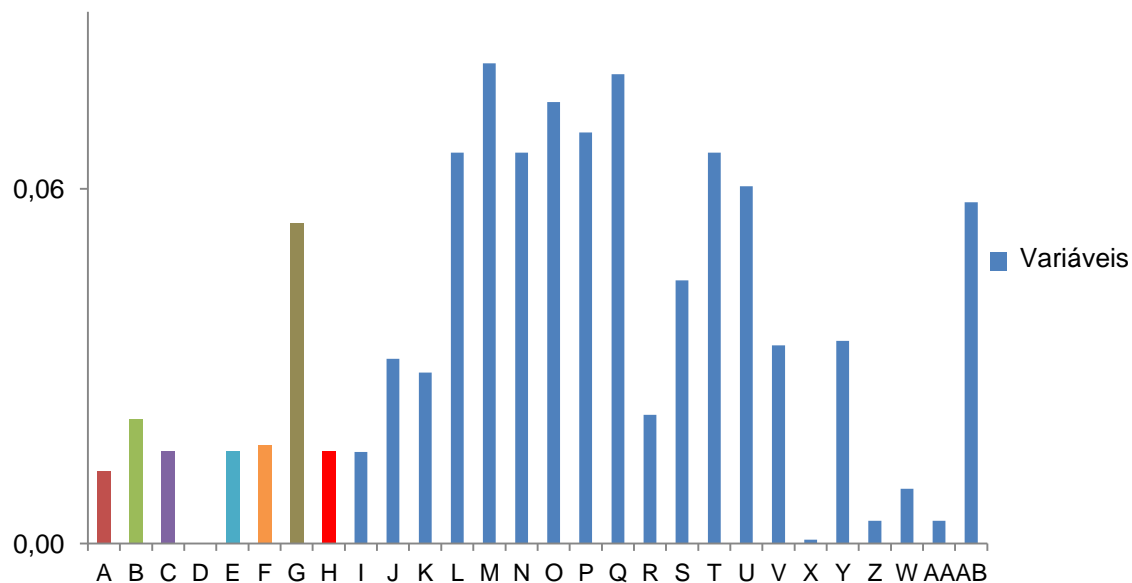


Fig. 6 - Contributo relativo das variáveis, baseado na correlação entre elas, para a ordenação no plano das componentes principais dos diferentes locais. (A – Rotifera; B – Nematoda; C – Annelida (Oligochaeta); D – Arthropoda (Collembola); E – Arthropoda (Chironomidae: larva); F – Arthropoda (Araneae); G – Arthropoda (Acari); H – Arthropoda (Gastropoda); I – *Echiniscus merokensis*; J – *Pseudechiniscus suillus*; K – *Milnesium tardigradum*; L - *Bertolanius weglarskae*; M - *Hypsibiidae* sp.; N - *Diphascon (Diphascon) bullatum*; O - *Diphascon (Diphascon) pingue*; P - *Hypsibius convergens*; Q - *Hypsibius dujardini*; R - *Astatumen trinacriae*; S - *Ramazzottius oberhaeuseri*; T - *Isohypsibius josephi*; U - *Thulinus sp. nov.*; V - *Macrobotidae* sp.; X - *Macrobotus harmsworthi*; Y - *Macrobotus hufelandi*; Z - *Minibiotus furcatus*; W - *Minibiotus intermedius*; AA - *Minibiotus orthofasciatus*; AB - *Paramacrobotus richtersi*).

Este gradiente ficou a dever-se à maior abundância dos grupos taxonómicos mais representativos, também projetados no plano das componentes principais com valores mais elevados da componente 1. Ao longo do tempo e considerando apenas as espécies com abundância superior a 1 indivíduo, é de referir apenas o aparecimento em março da espécie *Murrayon hibernicus*.

Tabela 6 - Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos nas amostras controlo e do local incendiado na estação de amostragem #3 [A – Rotifera; B – Nemata; C – Annelida (Oligochaeta); D – Tardigrada; E - Arthropoda (Collembola); F - Arthropoda (Chironomidae: larva); G - Arthropoda (Araneae); H - Arthropoda (Acari); I - Arthropoda (Gastropoda)].

Taxa	12-01-2013		16-02-2013		27-03-2013	
	C	I	C	I	C	I
Rotifera	380	13	157	81	162	637
Nemata	103	4	68	44	89	68
Annelida (Oligochaeta)	7	0	1	0	0	1
Tardigrada	17	11	18	38	25	15
Arthropoda (Collembola)	0	0	0	0	1	0
Arthropoda (Chironomidae:larva)	3	0	0	0	0	0
Arthropoda (Araneae)	0	1	0	0	0	0
Arthropoda (Acari)	17	3	10	2	4	0
Arthropoda (Gastropoda)	1	0	0	0	0	0

Tabela 7 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras controlo (C) e nas amostras do local incendiado (I), da estação#3.

	12-01-2013		16-02-2013		27-03-2013	
	C	I	C	I	C	I
Nº Tardígrados	17	11	18	38	25	15
Riqueza Especifica	6	4	6	6	6	6
Índice de Shannon-Wiener (H')	1,487	0,886	1,271	0,997	1,488	1,43
Índice de Equitabilidade de Pielou (J')	0,83	0,639	0,709	0,557	0,831	0,798

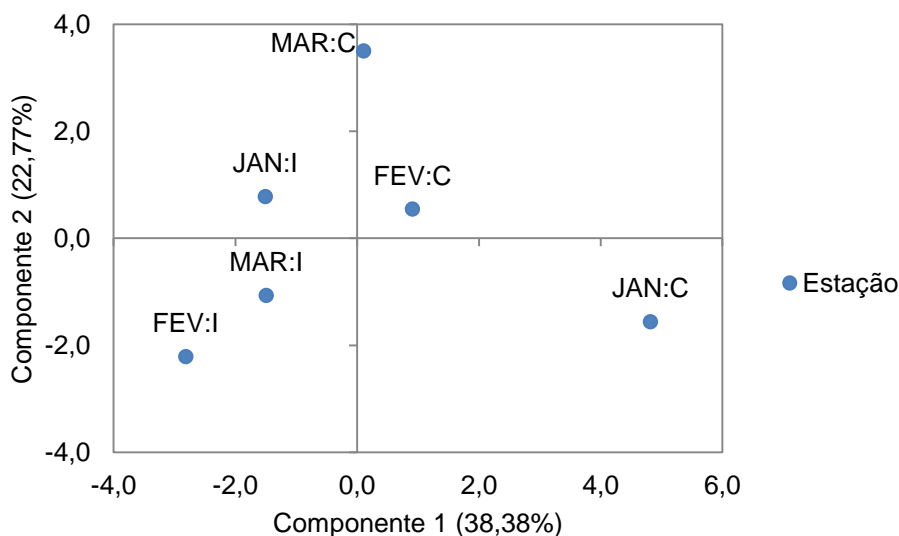


Fig. 7 – Ordenação das amostras de janeiro, fevereiro e março da estação #3 no plano das duas primeiras componentes principais.

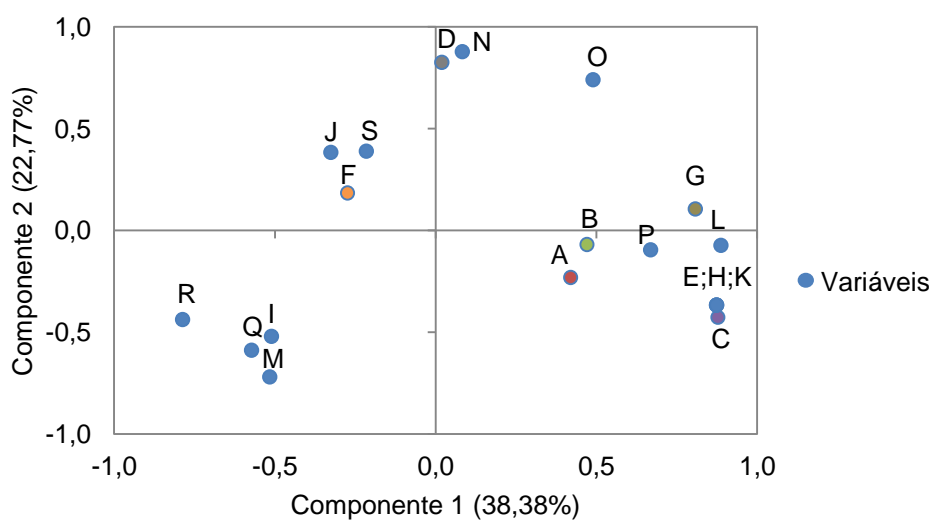


Fig. 8 – Projeção dos grupos taxonómicos (variáveis) no plano das duas primeiras componentes principais (A – Rotifera; B – Nemata; C – Annelida (Oligochaeta); D – Arthropoda (Collembola); E – Arthropoda (Chironomidae: larva); F – Arthropoda (Araneae); G – Arthropoda (Acari); H – Arthropoda (Gastropoda); I - *Pseudechiniscus suillus*; J – *Milnesium tardigradum*; K – *Hypsibius dujardini*; L – *Astatumen trinacriae*; M - *Ramazzottius oberhaeuseri*; N - *Macrobiotidae* sp.; O - *Macrobiotus harmsworthi*; P - *Macrobiotus hufelandi*; Q - *Minibiotus furcatus*; R - *Minibiotus intermedius*; S - *Murrayon hibernicus*).

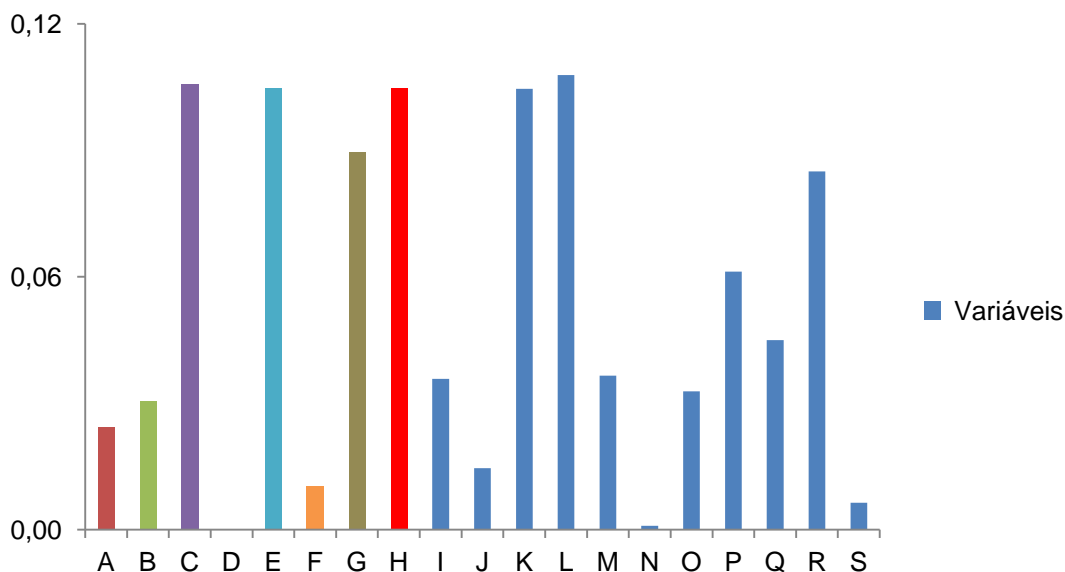


Fig. 9 - Contributo relativo das variáveis, baseado na correlação entre elas, para a ordenação no plano das componentes principais dos diferentes locais estudados em diferentes meses de 2013. (A – Rotifera; B – Nemata; C – Annelida (Oligochaeta); D – Arthropoda (Collembola); E – Arthropoda (Chironomidae: larva); F – Arthropoda (Araneae); G – Arthropoda (Acari); H – Arthropoda (Gastropoda), I - *Pseudechiniscus suillus*; J – *Milnesium tardigradum*; K – *Hypsibius dujardini*; L – *Astatumen trinacriae*; M - *Ramazzottius oberhaeuseri*; N - Macrobiotidae sp.; O - *Macrobiotus harmsworthi*; P - *Macrobiotus hufelandi*; Q - *Minibiotus furcatus*; R - *Minibiotus intermedius*; S - *Murrayon hibernicus*).

3.3.Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada

A comparação entre C1 e C2, amostras não submetidas à ação do fogo e diferindo apenas temporalmente (C1 proveniente da colheita de novembro e C2 de abril), mostrou que a comunidade de tardígrados não sofreu grandes alterações. Com efeito, os parâmetros estruturais (riqueza em espécies, diversidade e regularidade) foram muito semelhantes (Tabela 9). Excetuando as espécies mais raras (representadas apenas por um indivíduo), é de realçar o desaparecimento de *Minibiotus intermedius* e o incremento no número de exemplares da espécie *Murrayon hibernicus* em abril.

Já a comunidade presente nos locais recolonizados após o substrato ter sido queimado (Q) foi ligeiramente mais pobre quando comparada com C1/C2. As espécies mais comuns *Murrayon hibernicus*, *Macrobiotus hufelandi*, *Macrobiotus harmsworthi* e

até *Ramazzottius oberhaeuseri* e *Minibiotus intermedius* presentes no substrato adjacente foram aquelas que iniciaram o processo de recolonização. No que diz respeito a outros grupos zoológicos que não os tardígrados, os resultados obtidos (C2 versus Q) sugerem uma recolonização mais eficiente por parte de Nemata relativamente a Rotifera (Tabela 8).

Tabela 8 - Abundância dos organismos quantificados nos diferentes grupos zoológicos na amostra controlo C2 e na amostra queimada Q. [A – Rotifera; B – Nemata; C – Tardigrada; D - Arthropoda (Acari)].

Taxa	C1	C2	Q
Rotifera	-	479	184
Nemata	-	96	97
Tardigrada	128	224	137
Arthropoda (Acari)	-	1	2

Tabela 9 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras controlo (C1 e C2) e nas amostras do local queimado (Q).

	C1	C2	Q
Nº Tardígrados	128	224	137
Riqueza Especifica	10	9	7
Índice de Shannon-Wiener (H')	1,098	0,995	1,372
Índice de Equitabilidade de Pielou (J')	0,477	0,453	0,705

3.4. Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo

Os resultados obtidos nas duas amostras estudadas confirmaram a extraordinária capacidade de sobrevivência dos tardígrados quando expostos a temperaturas elevadas. Apesar de se ter verificado uma diminuição significativa na abundância de tardígrados ($F=37.32$; $p<0,01$; g.l.=4) à medida que a temperatura aumentou (Figura 10), ainda foi possível registar a presença de sobreviventes das espécies *Pseudechiniscus suillus*, *Milnesium tardigradum*, *Calohypsibius ornatus*, *Ramazzottius oberhaeuseri* e *Macrobiotus hufelandi* a temperaturas da ordem dos 225° C.

Como era de esperar, com o aumento de temperatura a diversidade (H') diminuiu. Contudo a equitabilidade (J') aumentou. Este resultado sugere que, com o

desaparecimento dos representantes das espécies eventualmente mais sensíveis, a distribuição das formas mais resistentes ficou mais regular (Tabelas 10 e 11).

Apesar do tamanho reduzido dos exemplares pertencentes a algumas das espécies mais resistentes (Anexo II), como é o caso de *P. suillus* e *C. ornatus*, não se registou uma associação significativa entre o comprimento do corpo dos tardígrados e a sobrevivência a diferentes temperaturas. Com efeito, neste estudo e dentro de cada espécie, o comprimento do corpo era semelhante no controlo e nos diferentes grupos de temperatura (Tabela 12).

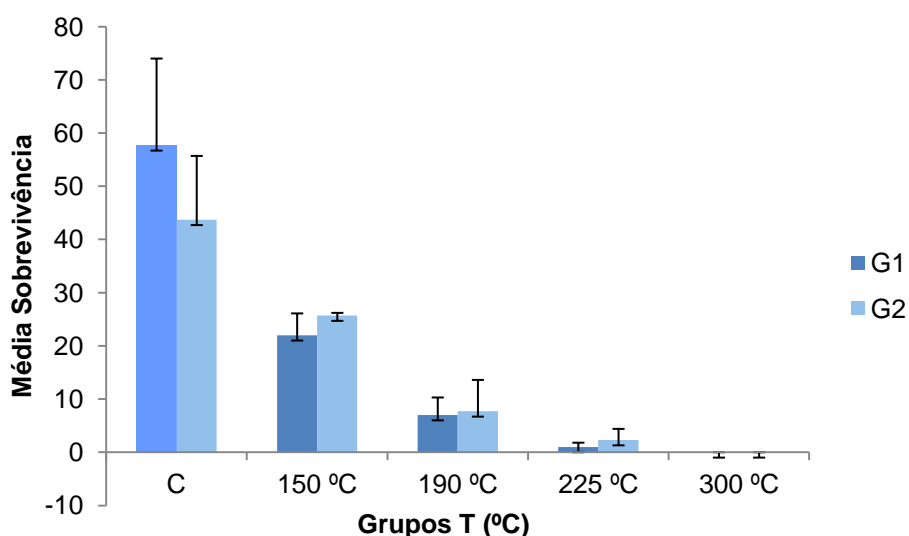


Fig. 10 – Média do número de sobreviventes com desvio padrão, nos diferentes grupos de temperatura, em cada estação de amostragem.

Tabela 10 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras submetidas a diferentes temperaturas para a estação G1.

	Controlo	150° C	190° C	225° C
Nº Tardígrados	173	66	21	3
Riqueza Especifica	10	8	4	2
Índice de Shannon-Wiener (H')	1,592	1,632	1,274	0,637
Índice de Equitabilidade de Pielou (J')	0,691	0,785	0,919	0,918

Tabela 11 – Parâmetros estruturais das comunidades de tardígrados presentes nas amostras submetidas a diferentes temperaturas para a estação G2.

	Controlo	150° C	190° C	225° C
Nº Tardígrados	131	77	23	7
Riqueza Especifica	11	11	8	5
Índice de Shannon-Wiener (H')	1,892	2,055	1,627	1,475
Índice de Equitabilidade de Pielou (J')	0,789	0,857	0,782	0,917

Tabela 12 – Valores dos testes não-paramétricos Mann Whitney e Kruskal-Wallis.

Mann-Whitney	<i>Echiniscus</i> sp.	Z= - 1,095	n1 = 21	n2 = 4	<i>p</i> > 0,05
	<i>Milnesium tardigradum</i>	Z= -1,186	n1 = 5	n2 = 12	
	<i>Calohypsibius ornatus</i>	Z= -0,949	n1 = 59	n2 = 14	
	<i>Calohypsibius placophorus</i>	Z= - 0,981	n1 = 10	n2 = 7	
	Macrobiotidae sp.	Z= - 1,366	n1 = 14	n2 = 11	
Kruskal-Wallis	<i>Macrobiotus harmsworthi</i>	Z= - 0,931	n1 = 6	n2 = 5	
	<i>Pseudechiniscus suillus</i>	H= 2,046	n1 = 74	n2 = 25 n3 = 8	
	<i>Macrobiotus hufellandi</i>	H= 0,815	n1 = 15	n2 = 19 n3 = 9	
	<i>Minibiotus intermedius</i>	H= 3,980	n1 = 43	n2 =30 n3 = 13	

4. Discussão

4.1. Notas acerca das espécies tardígrados identificados

Foram identificadas 28 espécies de tardígrados limnoterrestres, das quais 3 são novos registos para Portugal, e outra, *Thulinus sp. nov.*, é nova para a ciência e um novo registo do género. Assim, este estudo cumpriu o objetivo de incrementar o conhecimento das espécies de tardígrados de Portugal. Os ovos identificados como sendo das espécies *Macrobiotus macrocalix* Bertolani e Rebecchi, 1993 e *Macrobiotus orcadensis* Murray, 1907 confirmam também a presença destas espécies em Portugal (Anexo I). A presença de *M. macrocalix* tinha sido sugerida por Vicente *et al.* 2013, que, contudo, em material proveniente da Serra da Estrela encontraram algumas diferenças, quer nos indivíduos adultos quer nos ovos, relativamente ao material tipo. Quanto a *M. orcadensis*, até à data havia apenas um registo no distrito do Porto (Fontoura, 1981). Neste trabalho foram ainda identificadas algumas outras espécies relativamente raras (apenas com um registo anterior) no nosso país: *Diphascion (Diphascion) pingue* (Marcus, 1936), e *Minibiotus orthofasciatus* Fontoura, Pilato, Lsi & Morais, 2009, até agora citadas apenas para o distrito do Porto (Fontoura *et al.*, 2009); *Calohypsibius placophorus* (Da Cunha, 1943), espécie endémica registada anteriormente em Coimbra (Da Cunha, 1943); *Isohypsibius josephi* (Iharos, 1964) em Évora, e *Murrayon hibernicus* (Murray, 1911) com registos em Coimbra (Da Cunha 1948) e, mais recentemente, em Bragança (Fontoura, com. pess.).

Assim, a fauna portuguesa de tardígrados limnoterrestres passa a contar com 71 espécies distribuídas por 20 géneros.

4.2. Análise das Comunidades de tardígrados

4.2.1. Recolonização de locais incendiados e evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo

A recuperação das comunidades bióticas após um fogo florestal depende, naturalmente, de muitos fatores tais como o(s) grupo(s) taxonómico(s) considerado(s), o estado das populações pré-incêndio, a política de recuperação do local, e muitos

outros fatores. Segundo vários autores (York, 1999; Ryan, 2002), de um modo geral, a biodiversidade diminui bruscamente no primeiro ano após um fogo. Ainda segundo aquele autor, o tempo necessário para a completa recuperação vai depender, entre outros fatores, das condições ambientais, da severidade do incêndio (os mais severos diminuem a probabilidade de germinação de sementes e a sobrevivência da fauna que se refugia no solo), da estação do ano em que o fogo ocorreu, de condições biológicas das espécies (idade e maturação sexual).

Os resultados agora obtidos parecem confirmar o que acaba de se dizer. Com efeito, foi após um incêndio recente (2012) que se observaram as comunidades mais pobres de tardígrados, quer na abundância, quer na riqueza específica. Ao fim de 2 anos (incêndio de 2011), a recuperação das comunidades ainda parece incipiente. Contudo, ao fim de 3 anos (incêndio de 2010), a comunidade de tardígrados era bastante mais rica (quando comparada com as utilizadas como controlo) e com uma composição específica completamente diferente. Estes resultados devem, no entanto, ser encarados com a máxima cautela. Por um lado, como anteriormente referido, há uma enorme quantidade de fatores que podem condicionar a recuperação da fauna e que não foram analisados neste trabalho. Por outro lado, há muitos aspetos inerentes à biologia dos tardígrados ainda mal conhecidos e que podem proporcionar interpretações erróneas. A forma como se processa a dispersão dos tardígrados, a seleção de habitat (preferência de determinadas espécies por determinados tipos de briófitas) e a própria microdistribuição (relação com a estrutura das briófitas) são exemplos do que acaba de se dizer.

Pensa-se que a dispersão dos tardígrados ocorra de forma passiva através do vento ou correntes de água (Ramazzotti e Maucii, 1983; Kinchin, 1994; Degma *et al.*, 2011). Contudo, não há comprovação experimental que sustente esta teoria, apesar das tentativas para o fazer (Sudzuki, 1972). A uma macroescala, a distribuição geográfica dos tardígrados parece ser produto duma associação de eventos paleogeográficos (McInnes e Pugh, 1998) e de condições ecológicas (Pilato, 1979). A dispersão destes animais pode ser ainda favorecida pelas suas capacidades criptobióticas, permitindo que muitos exemplares ultrapassem condições adversas e, mais tarde, colonizem o mesmo ou outros locais (Kinchin, 1994). A uma escala mais reduzida, sabe-se que a interação de fatores como a altitude (Kathman e Cross, 1991; Guidetti *et al.*, 1999), a localização geográfica e o tipo de briófitas (Kathman e Cross, 1991) condicionam fortemente a composição das comunidades de tardígrados presentes num dado local. Andrew *et al.* (2003), por exemplo, concluíram que a distribuição das comunidades de invertebrados e briófitas obedece a um gradiente

altitudinal em função da alteração de parâmetros como humidade, alimento e substrato e, numa escala mais ampla, do clima e precipitação.

Assim, e tendo também em grande conta o curto período de tempo durante o qual, neste trabalho, se tentou estudar a evolução temporal da comunidade de tardígrados (janeiro a março de 2012), não era de esperar, como realmente se verificou, uma alteração profunda na estrutura da comunidade. Ao longo desse curto período, apenas se registou uma diminuição marcada na abundância, quando comparadas as amostras sujeitas à acção do fogo e o respetivo controlo. Note-se que o incremento no número de exemplares da espécie *Murrayon hibernicus* observado neste trabalho em março e em vários locais, parece estar relacionado com mecanismos próprios da dinâmica sazonal da população, não devendo ser atribuído à alteração artificial das condições de vida apesar de, de acordo com Guidetti *et al.* (1999) e Nichols *et al.* (2001), haver um grande desconhecimento sobre as variações sazonais das comunidades de tardígrados

Face ao exposto, também não parece de estranhar o facto de, 3 anos após o fogo, se tenha encontrado uma comunidade de tardígrados com uma composição completamente diferente. Este resultado sugere um colonização “exógena”, isto é, não de espécies presentes no local que recolonizariam os locais adjacentes (colonização endógena), mas sim por parte de espécies provenientes doutros locais. Com efeito, quando comparando as espécies identificadas entre o controlo e o local incendiado, deteta-se que há espécies novas, cuja abundância permite demonstrar que não se devem à aleatoriedade de amostragem do musgo analisado. São exemplo do que foi mencionado, *Bertolanius weglarskae*, e *Paramacrobotus richtersi* na estação de amostragem E#1. De facto, esta estação cuja distância ao evento de fogo é maior (incêndio decorreu em 2010), é a que possui abundâncias significativas nas espécies introduzidas, pois embora *Paramacrobotus richtersi* apareça na estação de amostragem #2, só possui um único exemplar na amostra do local incendiado.

Na verdade, em trabalho realizado recentemente, Vicente *et al.* (2013) estudaram, tal como neste trabalho, a evolução da comunidade de tardígrados limnoterrestres numa estação de amostragem da Serra da Estrela, entre 2000 e 2010, onde ocorreu um incêndio florestal em 2003. Aqueles autores para além de também terem confirmado (de acordo com York, 1999) que, também no caso dos tardígrados, a diversidade é baixa após um incêndio, concluíram ainda que a capacidade de recolonização por parte deste grupo é elevada. Contudo, o aspeto fortemente inovador do trabalho de Vicente *et al.* (2013) foi a demonstração, por análise de ADN, que os

haplótipos mais comuns conseguem sobreviver (recolonização endógena) e também que surgem inúmeros novos haplótipos (resultado de colonização “exógena”).

4.2.2. Recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada

Os resultados da recolonização dos musgos que foram queimados de forma propositada é, naturalmente, fortemente dependente da recuperação dessas briófitas que, segundo Schimmel e Granström (1996) também é influenciada pelo grau de severidade da queima que, por sua vez, condiciona o número de estruturas de reprodução que ficam viáveis para a produção de esporófitos. Apesar de no final do inverno e início de primavera de 2013 as condições ambientais terem sido favoráveis ao desenvolvimento das briófitas, com níveis de precipitação média elevados e superiores à média de anos anteriores (IPMA, 2012a; IPMA, 2012b; IPMA, 2013), neste trabalho foi necessário esperar cerca de cinco meses até se obter uma recuperação das briófitas, que pareceu capaz de suportar uma microfauna minimamente equilibrada. O facto de se ter procedido a uma queima muito severa (efetuada a temperaturas muito elevadas – chama azul), com destruição total do musgo, poderá justificar aquele prazo de tempo.

Os resultados agora obtidos mostraram que as espécies de tardígrados presentes no substrato adjacente foram aquelas que iniciaram o processo de recolonização, sugerindo que a colonização exógena poderá ser, nesta primeira fase pós fogo, pouco importante. A menor abundância destas espécies e o facto de não se ter detetado a presença de algumas espécies raras justificaram um maior equilíbrio na comunidade, traduzido por valores mais elevados do índice de diversidade e regularidade. Deste modo, são também reconfirmados os resultados discutidos no ponto anterior (4.2) e do trabalho de Vicente *et al.* (2013). É ainda interessante referir que, de acordo com Degma (2011) e devido à competição interespecífica, numa mesma mancha de musgo podemos esperar encontrar flutuações importantes de densidade, mas a composição específica manter-se-á sensivelmente a mesma.

Contudo, a generalização destes resultados deve ser encarada com a máxima cautela. Acontece que a localização e a arquitetura dos musgos, ao contribuírem para diferentes graus de perda de água, são fatores ecológicos extremamente importantes na distribuição da fauna do solo em geral e dos tardígrados em particular. Com efeito, a importância da natureza do substrato na dissecação das briófitas foi referida por

Kinchin (1994) e Nichols *et al.* (2001); a importância da densidade da canóia do musgo que regula a exposição solar e proteção ao vento, foi referida por Tuba (2011). A idade das briófitas também poderá condicionar a microdistribuição dos tardígrados. De acordo com Hallas (1978), os musgos mais velhos apresentam uma arquitetura com um nível de organização mais elaborado, conferindo uma maior diversidade de microhabitats (maior a quantidade de camadas existentes, logo maior substrato onde os tardígrados poderão habitar). Por outro lado, as interações tróficas com outros micrometazoários e mesmo outras espécies de tardígrados (Hyvönen e Persson, 1996), bem como variações sazonais de densidade (Everitt, 1981; Guidetti *et al.*, 1999; Nichols *et al.*, 2001), são também indicadas como tendo forte influência na distribuição e densidade de tardígrados.

4.2.3. Capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo.

A extraordinária capacidade de sobrevivência dos tardígrados quando expostos a temperaturas elevadas ficou bem demonstrada neste trabalho. Os resultados obtidos sugerem que a probabilidade dos tardígrados resistirem a um fogo florestal é muito elevada. Isto mesmo tendo em conta que as condições de vida desfavoráveis induzidas por um incêndio surgem de forma brusca, influenciando as capacidades criptobióticas dos tardígrados. Com efeito, antes de entrar em estado criptobiótico, os tardígrados necessitam de tempo para cumprir todo um processo fisiológico (Wright, 1989; Guidetti *et al.*, 2011). Também as briófitas, apresentam uma tolerância à dissecação completa (Oliver *et al.*, 1997). Este grupo está preparado, estruturalmente, para resistir à dissecação como mucilagem nas folhas jovens, esporos capilares nas axilas foliares, folhas côncavas que retêm água na sua face adaxial (Slack, 2011; Tuba, 2011), e componentes celulares (Oliver *et al.*, 1997). Segundo Kinchin (1994), a anidrobiose terá evoluído paralelamente nos tardígrados e nas briófitas e, provavelmente, o aparecimento de espécies xerófilas de tardígrados terá acontecido devido à invasão pelos musgos de espaços secos da Terra. Também Tunnacliffe e Lapinski (2003) realçam a importância da criptobiose para a colonização do meio terrestre.

Embora nas condições experimentais deste trabalho a sobrevivência dos tardígrados não tenha atingido os 300° C, não pode se esquecer que, em muitos fogos florestais, estes valores não são atingidos. De acordo com Neary *et al.* (1999), a temperatura de um fogo pode variar de 50 a > 1500°C. Também a temperatura e o dano físico que atingem a vegetação serão influenciados pela proximidade da chama à

vegetação; por exemplo um incêndio de copa pode não ter efeito nenhum na vegetação do solo (Ramsay e Oxley, 1996). Por outro lado, a velocidade com que o fogo avança, que depende naturalmente do vento, pode afetar diferencialmente a vegetação, deixando algumas manchas quase intocáveis.

A capacidade de resistência dos tardígrados em estado criptobiótico a fatores ambientais adversos é muito influenciada pelas características do microhabitat (Nelson e Adkins, 2001; Guidetti e Jönsson, 2002). No entanto, muitos trabalhos demonstraram haver diferenças inter-específicas nas capacidades criptobióticas (Jönsson *et al.*, 2001; Horikawa e Higashi, 2004; Rebecchi *et al.*, 2006; Faurby *et al.*, 2008). Por exemplo, Rebecchi *et al.* (2006) demonstraram que *Ramazzotius oberhaeuseri* é mais resistente que diferentes espécies de *Echiniscus* e Jönsson *et al.* (2001) observaram diferenças na capacidade criptobiótica entre *Richertsius coronifer* e *R. oberhaeuseri*. O volume de resultados agora obtidos é pequeno para que se possam avançar conclusões sobre a sensibilidade ao fogo das diferentes espécies, mas a grande capacidade de resistência de *R. oberhaeuseri* parece inquestionável.

Refira-se finalmente que, contrariamente às inúmeras referências bibliográficas que apontam para a existência, nos tardígrados, de uma correlação negativa entre comprimento do corpo e capacidade de sobrevivência a fatores adversos (Jönsson *et al.*, 2001; Wright, 2001; Rebecchi *et al.*, 2006; Faurby *et al.*, 2008), os resultados deste trabalho não o demonstraram.

5.Considerações finais

Com a realização deste trabalho melhorou-se o conhecimento sobre a fauna de tardígrados em Portugal. Identificaram-se novas estações de algumas espécies raras, *Calohypsibius placophorus* (Cunha, 1943), *Diphascon* (*Diphascon*) *pingue* (Marcus, 1936), *Isohypsibius josephi* (Iharos, 1964), *Macrobiotus orcadensis* Murray, 1907, *Minibiotus orthofasciatus* (Fontoura, Pilato, Lisi & Morais, 2009) e *Murrayon hibernicus* (Murray, 1911), alargando a sua distribuição geográfica no nosso país. Também se confirmou a citação para Portugal de *Macrobiotus macrocalix* Bertolani e Rebecchi, 1993. As espécies *Diphascon* (*Diphascon*) *bullatum* Murray, 1905, *Diphascon* (*Diphascon*) *oculatum* Murray, 1906 e *Hypsibius dujardini* Doyère, 1840 constituíram primeiros registos para Portugal. Por outro lado, identificou-se uma nova espécie para a Ciência do género *Thulinus* Bertolani 2003, ainda desconhecido em Portugal. Assim, a fauna portuguesa de tardígrados limnoterrestres passa a contar com 71 espécies distribuídas por 20 géneros.

No que diz respeito aos estudos sobre a influência do fogo sobre os tardígrados, os resultados confirmaram a extraordinária capacidade de sobrevivência destes organismos quando submetidos a temperaturas muito elevadas (superiores a 225° C), podendo, desta maneira, resistir ao fogo florestal e constituir a base para uma rápida (menos de cinco meses) recolonização e recuperação dos ecossistemas queimados. Além destes primeiros recolonizadores, haverá também uma fração importante de colonizadores “exógenos”, isto é, indivíduos provenientes de outros locais.

A informação obtida neste trabalho foi ainda muito escassa, contudo os resultados sugerem que os tardígrados apresentam grandes potencialidades para, a médio prazo, poderem ser utilizados como descritores de impacto de fogos florestais. No futuro próximo, será necessário aprofundar o conhecimento sobre a biologia deste enigmático grupo animal. Assim, além de haver necessidade de melhorar muitos aspetos metodológicos, resolvendo, por exemplo, problemas derivados da microescala de trabalho e da correta definição da situação de referência (de controlo), é imperativo incrementar os estudos sobre a eco-etologia dos tardígrados. Com efeito, só com bons conhecimentos sobre aspetos como os processos de dispersão dos tardígrados, a seleção do habitat, ciclos de vida e flutuações sazonais das populações, será possível compreender a resposta das comunidades ao fogo florestal. A análise integrada deste

conhecimento permitirá elaborar ferramenta de conservação e gestão da Natureza cuja importância é inquestionável num país tão flagelado por incêndios florestais como Portugal.

6.Referências Bibliográficas

- Andersen, A.N. e Müller, W.J. (2000). Arthropod responses to experimental fire regimes in an Australian tropical savannah: ordinal-level analysis. *Austral. Ecology*. **25**:199-209.
- Andrew, N.R., Rodgerson, L. e Dunlop, M. (2003). Variation in invertebrate-bryophyte structure at different spatial scales along altitudinal gradients. *Journal of Biogeography*. **30**:731-746
- Bertolani, R. (2001). Evolution of the reproductive mechanisms in tardigrades – a review. *Zool. Anz*. **240**:247-252
- Bertolani R., e L. Rebecchi (1993). A revision of the *Macrobotus hufelandi* group (Tardigrada, Macrobiotidae), with some observations on the taxonomic characters of eutardigrades. *Zool. Scripta*, **22**: 127-152
- Bertolanil, R., Altiero, T. e Nelson, D. (2009). Tardigrada (Water Bears). In: Likens, G. (Editor). *Encyclopedia of Inland Waters*, **2**: 443-455. Elsevier. Oxford.
- Brusca, R. e Brusca G. (2003). *Invertebrates*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Carmo, M., Moreira, F., Casimiro, P. e Vaz, Pedro (2011). Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal. *Landscape and Urban Planning* **100**:169-176.DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.11.017
- Clegg, J.S. (2001). Cryptobiosis – a peculiar state of biological organization. *Comparative biochemistry and physiology part B*. **128**:613-624.
- Da Cunha, A.X. (1943). Un Tardigrade nouveaux du Portugal: *Hypsibius placophorus* sp. n.. *Memórias e Estudos do Museu Zoológico da Universidade de Coimbra*, **143**: 1–5.
- Da Cunha, A.X. (1948). Tardígrados da Fauna Portuguesa. IV. *Memórias e Estudos do Museu Zoológico da Universidade de Coimbra*, **188**: 1–8.
- Danks, H.V. (1987). *Insect Dormancy: An Ecological Perspective*. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods). Ottawa.

- Danks, H.V. (2000). Dehydration in dormant insects. *Journal of Insect Physiology*, **46**:837-852
- Degma, P. (2010). Moss dwelling Tardigrada – from sampling to their identification. In: *European Distributed Institute of Taxonomy – EDIT Summer School 2010*, Madeira, 33pp.
- Degma, P. (2011). Horizontal distribution of moisture and Tardigrada in a single moss cushion. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* **49**(suppl.1):71-77. DOI: 10.1111/j.1439-0469.2010.00602.x
- Degma, P., Bertolani, R. e Guidetti, R. (2009-2013). *Actual checklist of Tardigrada species*. Ver. 22: 01-03-2013, <http://www.tardigrada.modena.unimo.it/miscellanea/Actual%20checklist%20of%20Tardigrada.pdf>, pp.37
- Dress, W.J. e Boerner, R.E.J. (2004). Patterns of microarthropod abundance in oak-hickory forest ecosystems in relation to prescribed fire and landscape position. *Pedobiologia*, **48**:1-8. DOI:10.1016/j.pedobi.2003.03.001
- Everitt, D.A. (1981). An ecological study of an Antarctic freshwater pool with particular reference to Tardigrada and Rotifera. *Hydrobiologia*, **83**:225-237
- Faurby, S., Jönsson, K.I., Rebecchi, L. e Funch, P. (2008). Variation in anhydrobiotic survival of two eutardigrade morphospecies: a story of cryptic species and their dispersal. *Journal of Zoology*, **275**:139-145
- Fontoura, A. P. (1981). Contribution pour l'étude des tardigrades terrestres du Portugal, avec la description d'une nouvelle espèce du genre *Macrobiotus*. *Instituto de Zoologia "Dr. Augusto Nobre,"* **160**: 3-24
- Fontoura, A.P., Pilato, G. Morais, P. e Lisi, O. (2009). *Minibiotus xavieri*, a new species of tardigrade from the Parque Biológico de Gaia, Portugal (Eutardigrada: Macrobiotidae). *Zootaxa*, **2267**: 55-64
- Gandhi, K.J.K., Spence, J.R., Langor, D.W., e Morgantini, L.E. (2001). Fire residuals as habitat reserves for epigeic beetles (Coleoptera: Carabidae and Staphylinidae). *Biol. Conserv.*, **102**:131-141
- Garey, J., Nelson, D., Mackey, L. e Li, J. (1999). Tardigrade phylogeny: congruency of morphological and molecular evidence. *Zoologischer Anzeiger*, **238**: 205-210.

- Gaugler, M. (2002). *Marine Interstitial Tardigrades and other Meiofauna of Huntington Beach, South Carolina*. Master science degree in Biology thesis presented to the faculty of the Department of Biological Sciences East Tennessee State University.
- Gomes, J.F.P. (2006). Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen. *International Journal of Environmental Studies*. **63(2)**:109-119. DOI: 10.1080/00207230500435304
- Guidetti, R., Altiero, T. e Rebecchi, L. (2011). On dormancy strategies in tardigrades. *Journal of Insect Physiology*. **57**:567-576. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2011.03.003
- Guidetti, R., Bertolani, R. e Nelson, D.R. (1999). Ecological and faunistic studies on Tardigrades in leaf litter of beech forests. *Zool. Anz*. **238**:215-123
- Guidetti, R. e Jönsson, K.I. (2002). Long-term anhydrobiotic survival in semi-terrestrial micrometazoans. *J.Zoo., Lond.* **257**:181-187. DOI: 10.1017/S095283690200078X
- Hallas, T.E. (1978). Habitat preference in terrestrial Tardigrades. *Ann. Zool. Fennici*. **15**: 66-68
- Horikawa, D.D. e Higashi, S. (2004). Dessication tolerance of the tardigrade *Milnesium tardigradum* collected in Sapporo, Japan, and Bogor, Indonesia. *Zoological Science*. **21(8)**:813-816
- Horning, O. S., Schuster, R. O. e Grigarick, A A (1978). Tardigrada of New Zealand. *NZeal. J. Zool.* **5**: 185-280. San Francisco. Martin, N. A. & Yeates, G. W., 197
- Hyvönen, R. e Persson, T. (1996). Effects of fungivorous and predatory arthropods on nematodes and tardigrades in microcosms with coniferous forest soil. *Biol, Fertil Soils*. **21**: 121-127
- ICNF (2012). *Relatório Anual de Áreas Ardidas e Incêndios Florestais em Portugal Continental – 2012*. <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dpci/relat/rel-if/resource/fich/2012/rel12> . Acedido a 30-12-2013
- ICNF (2013a). *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*, 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa. Acedido a 26-08-2013

- ICNF (2013b). *Plano sectorial da Rede Natura 2000*. Ficha Individual SIC – Rio Lima. <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000/resource/sic-cont/rio-lima> . Acedido em 25-03-2013
- ICNF (2013c). *Plano sectorial da Rede Natura 2000*. Ficha Individual SIC – Alvão/Marão. <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000/resource/sic-cont/alvao-marao> . Acedido em 25-03-2013
- ICNF (2013d). *Plano sectorial da Rede Natura 2000*. Ficha Individual ZPE – Serra do Gerês. <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000/resource/zpe-cont/geres> . Acedido em 25-03-2013
- ICNF (2013e). *Florestas: estatísticas fogos florestais*. <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/estatisticas> . Acedido a 25-03-2013
- Iharos, G. (1964). Neuere Beiträge zur Kenntnis der Tardigraden-Fauna Ungarns. V. *Opuscula Zoologica*. Budapest. **5 (1)**:57–67.
- IPMA (2012a). *Boletim Climatológico Mensal - Novembro 2012* - http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20121207/fYjinNmqWpmlMkWJQUcp/cli_20121101_20121130_pcl_mm_co_pt.pdf . Acedido a 30-12-2013
- IPMA (2012b). *Boletim Climatológico Mensal - Dezembro 2012* - http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20130107/LcywxCmLHuAOnsuEtYNf/cli_20121201_20121231_pcl_mm_co_pt.pdf . Acedido a 30-12-2013
- IPMA (2013). *Boletim Climatológico Sazonal Primavera 2013* - http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20131028/eNhEiQiRSTNgxFzibjQk/cli_20130301_20130531_pcl_sz_co_pt.pdf . Acedido a 15-08-2013
- Islam, M.R. e Schulze-Makuch, D. (2007). Adaptations to environmental extremes by multicellular organisms. *International Journal of Astrobiology*. **6(3)**:199-215. DOI: 10.1017/S1473550407003783
- Jönsson, K.I., Borsari, S. e Rebecchi, L. (2001). Anhydrobiotic survival in populations of the tardigrades *Richetersius coronifer* and *Ramazzottius oberhaeuseri* from Italy and Sweden. *Zool. Anz*. **240**: 419- 423.

- Kathman, R.D. e Cross, S.F. (1991). Ecological distribution of moss-dwelling tardigrades on Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Can. J. Zool.* **69**:122-129
- Kinchin, I.M. (1994). *The Biology of Tardigrades*. Portland Press. London. 186 pp
- Malmström, A. (2010). The importance of measuring fire severity – Evidence from microarthropod studies. *Forest Ecology and Management.* **260**:62-70. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.04.001
- Malmström, A., Person, T., Ahlström, K., Gongalsky, K.B. e Bengtsson, J. (2009). Dynamics of soil meso- and macrofauna during 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. *Applied Soil Ecology.* **43**:61-74.
- Marcus, E. (1936). Tardigrada. *Das Tierreich*. Ed. Walter de Gruyter, Berlin und Leipzig **66**: 1–340.
- McCullough, D.G., Werner, R.A. e Neumann, D. (1998). Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America. *Annu. Rev. Entomol.* **43**: 107-127.
- McInnes, S.J. e Pugh, P.J.A. (1998). Biogeography of limnoterrestrial Tardigrada, with particular reference to the Antarctic fauna. *Journal of Biogeography.* **25**:31-36
- Michalczyk Ł, Welnicz W, Frohme e M, Kaczmarek Ł, (2012). Redescriptions of three *Milnesium* Doyère, 1840 taxa (Tardigrada: Eutardigrada: Milnesiidae), including the nominal species for the genus. *Zootaxa.* **3154**:1-20.
- Miller, W.R. (2011). Tardigrades. *American Scientist, the magazine of Sigma Xi, The scientific Research society.* **99**:384-391
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. World Resources Institute, Washington , DC: 86 pp.
- Murray, J. (1907). Scottish Tardigrades collected by the Lake Survey. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, **45(3: 24)**: 641–668.
- Murray, J. (1911). Arctiscoidea. *Proceedings of the Royal Irish Academy*. Dublin and London, **31**: 1–16.

- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F. e Ffolliott, P.F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*. **122**:51-71.
- Nelson, D.R. (1991). Tardigrada. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Inc. pp 501-521
- Nelson, D.R. (2002). Current status of the Tardigrada: Evolution and Ecology. *Integ. and comp. biol.* **42(3)**:652-659
- Nelson, D.R. e Adkins, R.G. (2001). Distribution of tardigrades within a moss cushion: do tardigrades migrate in response to changing moisture conditions?. *Zool. Anz.* **240**:493-500
- New, T.R., Yen, A.L., Sands, D.P.A., Greenslade, P. Neville, P.J., York, A. e N.G. Collect (2010). Planned fires and invertebrate conservation in south east Australia. *J. Insect Conserv.* **14**:567-574
- Nichols, P.B., Romano III, F.A., e Nelson, D.R. (2001). Seasonal and altitudinal variation in distribution and abundance of Tardigrada on Dugger Mountain, Alabama. *Zool. Anz.* **240B**: 501-504
- Oliver, M.J., Wood, A.J. e O'Mahony, P. (1997). How some plants recover from vegetative dissection: a repair based strategy. *Acta Physiologiae Plantarum*. **19(4)**: 419-425
- Pilato, G. (1979). Correlations between cryptobiosis and other biological characteristics in some soil animals. *Boll. Zool.* **46**:319-332
- Pilato, G., Binda, M, Biondi, O., D'Urso, V., Lisi, O., Marletta, A. Maugeril, S., Nobile, V., Rappazzo, G., Sabella, G., Sammartano, F., Turrisi, G. e Viglianisi, F. (2005). The Clade Ecdysozoa. Perplexities and questions. *Zoologischer Anzeiger*, **244**: 43-50.
- Pinto-Coelho, R. (2000). *Fundamentos em Ecologia*. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil.
- Pryke, J.S. e Samways, M.J. (2012). Importance of using many taxa and having adequate controls for monitoring impacts of fire for arthropod conservation. *Journal of Insect Conservation*. **16**: 177-185

- Quartau, J.A. (2009). Preventive fire procedures in Mediterranean woods are destroying their insect Biodiversity: a plea to the EU Governments. *J. Insect Conserv.* **13**:267-270. DOI: 10.1007/s10841-008-9177-y
- Ramazzotti, G. e Maucci, W. (1983). Il Phylum Tardigrada – III edizione riveduta e aggiornata. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco de Marchi*, **41**: 1-1012.
- Ramsay, P.M. e Oxley, E.R.B. (1996). Fire temperatures and postfire plant community dynamics in Ecuadorian grass páramo. *Vegrtatio.* **124**:129-144.
- Rebecchi, L., Altiero, T. e Guidetti, R. (2007). Anhydrobiosis: the extreme limit of desiccation tolerance. *ISJ.* **4**:65-81
- Rebecchi, L. Guidetti, R., Borsari, S. Altiero. T., e Bertolani, R. (2006). Dynamics of long-term anhydrobiotic survival of lichen-dwelling tardigrades. *Hidrobiologia.* **558**:23-30. DOI: 10.1007/s10750-005-1415-7
- Ryan, K.C. (2002). Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica.* **36(1)**: 13-39.
- Schimmel, J.e Granstrom, G. (1996). Fire Severity and Vegetation Response in the Boreal Swedish Forest. *Ecology.* **77**:1436–1450.
- Schmidt-Rhaesa, A., Bartolomaeus, T., Lemburg, C., Eehlers, U. e Garey, J. (1998). The Position of the Arthropoda in the Phylogenetic System. *Journal of Morphology*, **238**: 163-285.
- Silva, J.S., Moreira, F., Vaz, P., Catry, F. e Godinho-Ferreira, P. (2009). Assessing the relative fire proneness of different forest types in Portugal. *Plant Biosystems – An international journal dealing with all aspects of plant biology.* **143(3)**:597-608. DOI: 10.1080/11263500903233250
- Slack, N. G. (2011), The Ecological Value of Bryophytes as Indicators of Climate Change *in*: Tuba, Z., Slack, N.G. e Stark, L.R. (eds.)(2011). *Bryophyte ecology and climate changes*.1st Ed. Cambridge University Press. Cambridge. DOI: 10.107/CBO9780511779701
- Shannon, C. e Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communications*. University of Illinois Press. Urbana, Illinois, U.S.A.

- Shen-Miller, J., Mudgett, M.B., Schopf, J.W., Clarke, S. e Berger, R. (1995). Exceptional seed longevity and robust growth: ancient Sacred Lotus from China. *American Journal of Botany* **82**: 1367–1380.
- Sneath, P.H.A. e Sokal, R.R. (1973). *Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification*. W.H. Freeman and Company.
- Stat Soft Inc (1984-2012) – Statistica (data analysis software system), version 11. <http://www.statsoft.com>
- Sudzuki, M. (1972). An analysis of colonization in freshwater microorganisms II: two simple experiments on dispersal by wind. *Japanese Journal of Ecology*. **22**:222-225.
- Torres, J., Gonçalves, J., Pinto, A.T., Proença, V., e Honrado, J.P. (2011). Fogo, resiliência e dinâmica em espaços florestais do norte de Portugal. In: Tereso, J.P., Honrado, J.P., Pinto, A.T. e Rego, F.C.(Eds) (2011). *Florestas do Norte de Portugal: História, Ecologia e Desafios de Gestão*. InBio - Rede de Investigação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva. Porto. 436 pp:249-282
- Tuba, Z. (2011), Bryophyte Physiological Processes in a Changing Climate: an Overview *in*: Tuba, Z., Slack, N.G. e Stark, L.R. (eds.)(2011). *Bryophyte ecology and climate changes*. 1st Ed. Cambridge University Press. Cambridge. DOI: 10.107/CBO9780511779701
- Tunnacliffe, A. e Lapinski, J. (2003). Resurrecting van Leeuwenhoek's rotifers: a reappraisal of the role of disaccharides in anhydrobiosis. *Phil.Trans. R.Soc. Lond. B*. **358**:1755-1771. DOI:10.1098/rstb.2002.1214
- Vreeland, R.H., Rosenzweig, W.D. e Powers, D.W. (2000). Isolation of a 250 million-year-old halotolerant bacterium from a primary salt crystal. *Nature*. **407**:897-900. DOI: 10.1038/35038060
- Vasconcelos, H.L., Pacheco, R., Silva, R.C., Vasconcelos, P.B., Lopes, C.T., Costa, A.N. e Bruna, E.M. (2009). Dynamics of leaf-litter arthropod fauna following fire in a neotropical woodland savanna. *PLoS ONE*. **4(11)**: e7762. DOI: 10.1371/journal.pone.0007762
- Vicente, F. (2010). Micro-invertebrates conservation: forgotten biodiversity. *Biodivers. Conserv.***19**:3629-3634

- Vicente, F., Cesari, M., Serrano, A. e Bertolani, R. (2013). The impact of fire on terrestrial tardigrade biodiversity: a first case-study from Portugal. *Journal of Limnology*, **72 (S1)**: 152-159 (XII Symposium Proceedings)
- Viegas, D.X., Abrantes, T., Palheiro, P., Santo, F.E., Viegas, M.T., Silva, J. e Pessanha, L. (2006). Fire weather during the 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal. *Forest Ecology and Management*. **234(1)**: S60-S60. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.088
- Wharton, D.A., Petrone, L., Duncan, A. e McQuillan, A.J. (2008). A surface lipid may control the permeability slump associated with entry into anhydrobiosis in the plant parasitic nematode *Ditylenchus dipsaci*. *The Journal of Experimental Biology*. **211**:2901-2908. DOI:10.1242/jeb.020743
- Wright, J.C. (1989). Desiccation tolerance and water-retentive mechanisms in tardigrades. *J.exp. Biol.* **142**: 267-292.
- Wright, J.C. (2001). Cryptobiosis 300 years on from van Leuwenhoek: what have we learned about tardigrades?. *Zool Anz.* **240**:563-582.
- York, A. (1999). Long-term effects of frequent low-intensity burning on the abundance of litter-dwelling invertebrates in coastal blackbutt forests of southeastern Australia. *J. Insect Conserv.***3**:191-199

7. Anexos

Anexo I

Tabela com tardígrados identificados na estação de amostragem #1 (Incêndio 2010, Anha) e número de exemplares recolhidos, com referências aos ovos identificados, nas amostras do local controlo e do local incendiado.

	Espécies	Abundância	
		C	I
HETEROTARDIGRADA	<i>Echiniscus merokensis</i> Richters, 1904	1	1
	<i>Pseudechiniscus suillus</i> Ehrenberg, 1853	28	14
	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	0	4
	<i>Bertolanius weglarskae</i> Dastych, 1972	0	31
	Hypsibiidae sp.	2	7
	<i>Diphascos (Diphascos) bullatum</i> Murray, 1905	0	3
	<i>Diphascos (Diphascos) pingue</i> Marcus, 1936	1	13
	<i>Hypsibius convergens</i> Urbanowicz, 1925	1	45
	<i>Hypsibius dujardini</i> Doyère, 1840	1	25
	EUTARDIGRADA	<i>Astatumen trinacriae</i> Arcidiacono, 1962	0
<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840		1	7
<i>Isohypsibius josephi</i> Ilharos, 1964		0	4
<i>Thulinus sp. nov.</i>		2	5
Macrobiotidae sp.		26	12
<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907		0	5
<i>Macrobiotus hufelandi</i>		312 ¹	126
<i>Minibiotus intermedius</i>		26	3
<i>Paramacrobiotus richtersi</i> Murray, 1911		0	10 ²
Total Espécimens		401	328

¹ – identificados três ovos de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834

² – identificado um ovo de *Paramacrobiotus richtersi* Murray, 1911

Tabela com tardígrados identificados na estação de amostragem #2(Incêndio 2011, Anha) e número de exemplares recolhidos, com referências aos ovos identificados, nas amostras do local controlo e do local incendiado.

	Espécies	Abundância	
		C	I
HETEROTARDIGRADA	<i>Echiniscus merokensis</i> Richters, 1904	25	0
	<i>Pseudechiniscus suillus</i> Ehrenberg, 1853	548	0
	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	4	2
	Hypsibiidae sp.	1	0
	<i>Diphascion (Diphascion) pingue</i> Marcus, 1936	10	0
	<i>Hypsibius dujardini</i> Doyère, 1840	3	0
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	1	0
EUTARDIGRADA	Macrobiotidae sp.	59	10
	<i>Macrobiotus hufelandi</i>	751 ¹	139
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	3	0
	<i>Minibiotus intermedius</i>	94	10
	<i>Minibiotus orthofasciatus</i> Fontoura, Pilato, Lisi & Morais, 2009	22	0
	<i>Paramacrobiotus richtersi</i> Murray, 1911	0	1
	Total Espécimens	1521	162

¹ – identificados um ovo de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834, um ovo de *Macrobiotus macrocalix* Bertolani e Rebecchi, 1993 e seis ovos de *Macrobiotus recens* Cuénot, 1932

Tabela com tardígrados identificados na estação de amostragem #3(Incêndio 2012, Chafé) e número de exemplares recolhidos, com referências aos ovos identificados, nas amostras do local controlo e do local incendiado. Esta informação é a mesma da amostragem em janeiro no trabalho evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo.

	Espécies	Abundância	
		C	I
EUTARDIGRADA	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	1	1
	<i>Hypsibius dujardini</i> Doyère, 1840	1	0
	<i>Astatumen trinacriae</i> Arcidiacono, 1962	6	0
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	2	1 ¹
	<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907	6	8
	<i>Macrobiotus hufelandi</i>	1	0
	<i>Minibiotus intermedius</i>	0	1
Total Espécimens		17	11

¹ – identificado um ovo de *Ramazzottius oberhaeuseri*

Tabela com tardígrados identificados da amostra do mês de fevereiro na estação de amostragem #3 (Incêndio 2010, Chafé) no trabalho evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo. e número de exemplares recolhidos, nas amostras do local controlo e do local incendiado.

	Espécies	Abundância	
		C	I
HETEROTARDIGRADA	<i>Pseudechiniscus suillus</i> Ehrenberg, 1853	0	1
EUTARDIGRADA	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	1	3
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	2	27
	Macrobiotidae sp.	1	0
	<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907	11	1
	<i>Macrobiotus hufelandi</i>	2	0
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	1	5
	<i>Minibiotus intermedius</i>	0	1
Total Espécimens		18	38

Tabela com tardígrados identificados da amostra do mês de março na estação de amostragem #3 (Incêndio 2010, Chafé) no trabalho evolução temporal da comunidade de tardígrados após o fogo. e número de exemplares recolhidos, nas amostras do local controlo e do local incendiado.

	Espécies	Abundância	
		C	I
EUTARDIGRADA	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	4	1
	<i>Astatumen trinacriae</i> Arcidiacono, 1962	1	0
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	1	7
	Macrobotidae sp.	5	0
	<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907	11	1
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	0	1
	<i>Minibiotus intermedius</i>	0	1
	<i>Murrayon hibernicus</i> Murray, 1911	3	4
Total Espécimens		25	15

Tabela com tardígrados identificados no trabalho recolonização em meio natural de musgos queimados de forma controlada em Amarante, e número de exemplares recolhidos, nas amostras controlo (C1 – novembro; C2 – abril) e da amostra queimada, com referências aos ovos identificados.

	Espécies	Abundância		
		C1	C2	Q
HETEROTARDIGRADA	<i>Echiniscus</i> sp.	0	1	0
	<i>Hypsibius</i> sp.	0	1	0
	<i>Diphascon (Adropion)</i> sp.	1	0	0
	<i>Diphascon (Diphascon) pingue</i> Marcus, 1936	1	1	0
	<i>Astatumen trinacriae</i> Arcidiacono, 1962	1	2	0
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	1	1	7
EUTARDIGRADA	Macrobotidae sp.	11	23	27
	<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907	8	5	3
	<i>Macrobiotus hufelandi</i>	92 ¹	34	38 ³
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	1	0	2
	<i>Minibiotus intermedius</i>	6	0	1
	<i>Murrayon hibernicus</i> Murray, 1911	6	156 ²	59 ⁴
Total Espécimens		128	224	137

¹ – identificado um ovo de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834

² – identificado casca de ovo de *Murrayon hibernicus* Murray, 1911

³ – identificado um ovo de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834

⁴ – identificado um ovo de *Murrayon hibernicus* Murray, 1911

Tabela com tardígrados identificados no trabalho capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo, e número de exemplares recolhidos, dos diferentes grupos que foram submetidos a temperaturas diferentes, da estação de amostragem G1.

Espécies		Grupos Temperatura			
		C	150 °C	190 °C	225 °C
HETEROTARDIGRADA	<i>Pseudechiniscus suillus</i> Ehrenberg, 1853	41	20	8	0
	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	17	1	0	1
	<i>Calohypsibius ornatus</i> Richters, 1900	3	8	0	0
	<i>Calohypsibius placophorus</i> da Cunha, 1943	67	14	4	0
	<i>Diphascon (Diphascon) pingue</i> Marcus, 1936	2	1	0	0
EUTARDIGRADA	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	2	1	0	0
	Macrobotidae sp.	1	0	2	2
	<i>Macrobotus harmsworthi</i> Murray, 1907	5	3	0	0
	<i>Macrobotus hufelandi</i>	34	18	7	0
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	1	0	0	0
Total Espécimens		173	66	21	3

Tabela com tardígrados identificados no trabalho capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo, e número de exemplares recolhidos, dos diferentes grupos que foram submetidos a temperaturas diferentes, com referência aos ovos identificados da estação de amostragem G2.

Espécies		Grupos Temperatura			
		C	150 °C	190 °C	225 °C
HETEROTARDIGRADA	<i>Echiniscus</i> sp.	6	6	0	0
	<i>Pseudechiniscus suillus</i> Ehrenberg, 1853	16	18	4	3
EUTARDIGRADA	<i>Milnesium tardigradum</i> Doyère, 1840	10	2	2	1
	<i>Calohypsibius ornatus</i> Richters, 1900	2	5	1	1
	<i>Calohypsibius placophorus</i> da Cunha, 1943	3	0	0	0
	Hypsibiidae sp.	1	0	0	0
	<i>Diphascon (Diphascon) oculatum</i> Murray, 1906	3	3	1	0
	<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i> Doyère, 1840	0	2	1	1
	Macrobiotidae sp.	9	6	0	0
	<i>Macrobiotus harmsworthi</i> Murray, 1907	11	5	2	0
	<i>Macrobiotus hufelandi</i>	53 ¹	8	1 ²	1 ³
	<i>Minibiotus furcatus</i> Ehrenberg, 1859	0	1	0	0
	<i>Minibiotus intermedius</i>	17	21	11	0
	Total Espécimens	131	77	23	7

¹ – identificado um ovo de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834 e um ovo de *Macrobiotus orcadensis* Murray, 1907

² – identificado um ovo de *Macrobiotus hufelandi* C.A.S. Schultze, 1834

³ – identificado um ovo de *Macrobiotus orcadensis* Murray, 1907

Anexo II

Tabela com o comprimento (μm) dos tardígrados no trabalho capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo, da estação de amostragem G1. (negrito – larva; sublinhado – *simplex*).

Espécies	Comprimento (μm)			
	C	150 °C	190 °C	225 °C
HETEROTARDIGRADA <i>Pseudechiniscus suillus</i>	0	0	110	
	0	117	123	
	0	139	127	
	58	148	138	
	86	151	158	
	88	162	171	
	105	166	176	
	108	202		
	116	99		
	116	134		
	120	141		
	121	149		
	129	159		
	130	191		
	130	128		
	131	151		
	136	158		
	139			
	141			
	144			
	146			
	160			
	160			
	163			
	178			
	180			
	180			
	181			
	181			
	182			
185				
188				
194				
195				
198				
200				
EUTARDIGRADA <i>Milnesium tardigradum</i>	0	331		325
	0			
	0			
	300			
	324			
	334			
	338			
	<u>343</u>			
	371			
	377			
	379			
	425			
	460			
479				
569				

<i>Calohypsibius ornatus</i>	111	0	
	124	<u>108</u>	
	140	116	
		120	
		124	
		127	
		149	
<i>Calohypsibius placophorus</i>	0	0	0
	0	93	166
	0	111	200
	0	156	223
	102	157	
	103	161	
	107	162	
	112	165	
	118	<u>178</u>	
	120	187	
	121	188	
	123	208	
	127		
	127		
	134		
	135		
	135		
	137		
	137		
	138		
	139		
	141		
	143		
	145		
	148		
	150		
	151		
	153		
	155		
	155		
	158		
	161		
162			
167			
167			
169			
169			
170			
170			
170			
171			
171			
172			
174			
177			
184			
185			
185			
190			
191			
194			
195			
196			

	196			
	200			
	206			
	208			
	211			
	221			
	232			
<i>Diphascon (Diphascon) pingue</i>	167	231		
	173			
<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i>	324	<u>222</u>		
	213			
Macrobiotidae sp.	310		239	215
			281	
<i>Macrobiotus hufelandi</i>	0	161	238	
	129	161	245	
	162	164	252	
	164	211	313	
	180	232	319	
	184	232	321	
	191	241	365	
	204	258		
	209	273		
	215	290		
	217	303		
	223	303		
	233	331		
	234	337		
	239	340		
	241	347		
	247	372		
	<u>258</u>			
	261			
	280			
	292			
	294			
	<u>294</u>			
	297			
	305			
	306			
	337			
	347			
	411			
	415			
	894			
<i>Macrobiotus harmsworthi</i>	172	195		
	192	203		
	198	384		
	307			
	349			
<i>Minibiotus furcatus</i>	328			

Tabela com o comprimento (μm) dos tardígrados no trabalho capacidade de sobrevivência dos tardígrados face ao fogo, da estação de amostragem G2. (negrito – larva; sublinhado – *simplex*).

Espécies		Comprimento (μm)			
		C	150 °C	190 °C	225 °C
HETEROTARDIGRADA	<i>Echiniscus</i> sp.	160	0		
		161	0		
		173	110		
		180	115		
		186	121		
		201	122		
	<i>Pseudechiniscus suillus</i>	88	125	115	119
		98	126	117	130
		99	130	136	152
		100	132		
		113	133		
		118	138		
		120	141		
		126	148		
		127	150		
		137	150		
		145	166		
		150	170		
		155	171		
		171	181		
179	198				
	203				
EUTARDIGRADA	<i>Milnesium tardigradum</i>	469	0	728	0
		517	304		
		522			
		531			
		626			
		656			
		671			
		672			
		703			
	<i>Calohypsibius ornatus</i>	107	147	153	101
		125	124		
			146		
			154		
	<i>Calohypsibius placophorus</i>	123			
		130			
		192			
	<i>Hypsibiidae</i> sp.	0			
	<i>Diphascon (Diphascon) oculatum</i>	239	234	201	
		253	263		
		263	328		
<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i>		0	<u>244</u>	316	
		193			
Macrobotidae sp.	186	0			
	189	150			
	203	151			
	244	190			
	270	195			
	283	391			
	350				
	357				
437					
<i>Macrobotus hufelandi</i>	0	178	0	208	

	0	186	
	156	203	
	161	213	
	172	284	
	186	286	
	195	337	
	199	359	
	200		
	208		
	220		
	226		
	228		
	232		
	239		
	239		
	239		
	245		
	249		
	254		
	258		
	259		
	266		
	269		
	269		
	272		
	277		
	284		
	288		
	292		
	299		
	301		
	302		
	308		
	309		
	310		
	313		
	313		
	320		
	320		
	324		
	326		
	350		
	351		
	375		
	389		
	403		
<i>Macrobiotus harmsworthi</i>	200	258	188
	210	343	360
	242	347	
	261	427	
	269	464	
	300		
	311		
	314		
	478		
<i>Minibiotus furcatus</i>		316	
<i>Minibiotus intermedius</i>	111	150	128
	142	166	137
	152	167	152
	154	169	161

168	169	182
181	173	193
185	177	204
192	179	139
198	180	172
203	181	
204	181	
216	183	
219	185	
219	187	
234	189	
	201	
	208	
	220	
	228	

Tabela com média, desvio-padrão, número de medições, máximo e mínimo (μ) dos comprimentos dos tardígrados medidos, da estação de amostragem G1.

Espécies	Controlo			150 °C			190 °C			225 °C										
	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)
Heterotardigrada																				
<i>Pseudechiniscus suillus</i>	154,6	29,8	30	200	105	153,1	21,3	15	158	117	143,3	23,5	7	176	110	0	0	0	0	0
Eutardigrada																				
<i>Miinesium tardigradum</i>	391,6	74,8	12	569	300	331	0	1	331	0	0	0	0	0	325	0	1	325	0	0
<i>Calohypsibius ornatus</i>	125	11,9	3	140	111	124	12,7	6	149	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calohypsibius placophorus</i>	160,3	30,8	56	232	102	160,5	31,7	11	208	93	196,3	23,4	3	223	166	0	0	0	0	0
<i>Diphascon (Diphascon) pingue</i>	170	3	2	173	167	231	0	1	231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ramazzottius oberhaeuseri</i>	268,5	55,5	2	324	213	222	0	1	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Macrobiotidae sp.	310	0	1	310	0	0	0	0	0	260	21	2	281	239	215	0	1	215	0	0
<i>Macrobiotus hufelandi</i>	275,4	133	30	894	129	268	66,1	17	372	161	293,3	44,8	7	365	238	0	0	0	0	0
<i>Macrobiotus harmsworthi</i>	243,6	70,7	5	349	172	260,7	87,3	3	384	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Minibiotus furcatus</i>	328	0	1	328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela com média, desvio-padrão, número de medições, máximo e mínimo (μ) dos comprimentos dos tardígrados medidos, da estação de amostragem G2.

Espécies	Controlo			150 °C					190 °C					225 °C						
	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)	\bar{x}	s2	n	Máx. (μ m)	Min. (μ m)
Heterotardigrada																				
<i>Echiniscus</i> sp.	176,8	14,3	6	201	160	117	4,8	4	122	110	0	9,5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudechiniscus suillus</i>	133,8		13	179	98	153,9	24,2	16	203	125	122,7	0	3	136	115	133,7	13,7	3	152	119
Eutardigrada																				
<i>Milnesium tardigradum</i>	596,3	81,3	9	703	469	304	0	2	304	304	728	0	1	728	0	0	0	0	0	0
<i>Calohypsibius ornatus</i>	116	9	2	125	107	142,8	11,3	4	147	154	153	0	1	153	101	0	1	101		
<i>Calohypsibius placophorus</i>	148,3	31	3	102	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hypsibiidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diphascon (Diphascon) oculatum</i>	251,7	9,8	3	263	239	275	39,3	3	328	234	201	0	1	201	0	0	0	0	0	0
<i>Ramazottius oberhaeuseri</i>	0	0	0	0	0	193	0	1	193	244	244	0	1	244	316	0	1	316		
Macrobotidae sp.	279,9	81,6	9	437	186	215,4	89,8	5	391	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macrobotus hufelandi</i>	271	58,1	45	403	156	255,8	65,7	8	359	178	0	0	0	0	208	0	1	208		
<i>Macrobotus harmsworthi</i>	287,2	77,8	9	478	200	367,8	71,9	5	464	258	274	86	2	360	188	0	0	0	0	0
<i>Minibiotus furcatus</i>	0	0	0	0	0	316	0	1	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Minibiotus intermedius</i>	185,2	32,9	15	234	111	183,8	18,6	19	228	150	163,1	25	9	172	128	0	0	0	0	0