



COMO OS INVERTEBRADOS DE SOLO LIDAM COM A CONTAMICAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS

Carlos Barreto^{1*}, **Matthias C. Rillig**^{2,3†}, **Walter R. Waldman**^{4†} and **Stefanie Maaß**^{3,5†}

¹ Department of Biology, Biotron Experimental Climate Change Research Centre, Western University, London, ON, Canada

² Plant Ecology, Institute of Biology, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

³ Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research (BBIB), Berlin, Germany

⁴ Center of Science and Technology for Sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, Brazil

⁵ Plant Ecology and Nature Conservation, Institute of Biochemistry and Biology, Universität Potsdam, Potsdam, Germany

JOVENS REVISORES:



ASTÈRE

IDADE: 8



JUNIE

IDADE: 10

Pequenos animais chamados invertebrados representam um grupo diverso de habitantes dos solos. Eles incluem as minhocas, tatus-bola, aranhas, colêmbolos, ácaros e também alguns insetos. Os invertebrados de solo se alimentam de plantas mortas, fungos e bactérias, e também de outros invertebrados. As inúmeras maneiras pelas quais os invertebrados de solo interagem entre si, e o alto número de espécies existentes, faz com que a vida no solo seja complexa e difícil de entender. Infelizmente, muitos invertebrados de solo têm lidado com a poluição dos solos há décadas, incluindo a contaminação por pequenas partículas de plásticos chamadas microplásticos. Mas seriam os microplásticos prejudiciais a esses organismos? Existe a possibilidade dos microplásticos serem transferidos quando os invertebrados se alimentam uns dos outros? Muitas questões sobre os microplásticos e os invertebrados de solo têm sido investigadas utilizando minhocas, mas alguns

estudos utilizando outros invertebrados como os colêmbolos, ácaros e nematóides também existem. Neste artigo, nós apresentamos um resumo dos efeitos dos microplásticos nos invertebrados de solo.

QUEM SÃO OS SUPER-HERÓIS QUE VIVEM NO SOLOS, E QUAIS SÃO OS SEUS SUPER PODERES?

Muitos animais vivem no solo, mas... por que nós não conseguimos vê-los? Os pequenos animais que vivem no solo são chamados **invertebrados de solo**, e eles variam bastante de tamanho. Algumas espécies são menores do que o diâmetro de um fio de cabelo! Nós podemos classificar os invertebrados de solo em três grandes grupos baseados nos seus tamanhos [1]. Macro-invertebrados são invertebrados relativamente grandes, como as minhocas, tatus-bola, aranhas, piolhos-de-cobra, centopeias e alguns insetos como os besouros. Eles são maiores do que 2 mm e conseguem criar espaço no solo para viverem. Meso-invertebrados têm um tamanho intermediário (0,1-2mm) e vivem em poros cheios de ar nos solos. Alguns exemplos incluem os colêmbolos [2], ácaros e alguns anelídeos oligoquetas. Micro-invertebrados são tão pequenos (<0,1mm) que nós não conseguimos vê-los sem o auxílio de um microscópio. Eles moram na água que está presente no solo. Exemplos incluem os nematóides, rotíferos e urso-d'água.

INVERTEBRADOS DE SOLO

Pequenos animais habitantes do solo que não possuem ossos ou espinha dorsal.

Figura 1

Exemplos de invertebrados de solo de diferentes tamanhos. **a)** urso-d'água **b)** rotífero **c)** nematóide **d)** anelídeo oligoqueta **e)** colêmbolo **f)** ácaro **g)** aranha **h)** besouro **i)** tatu-bola **j)** minhoca **k)** centopeia **l)** piolho-de-cobra. As ilustrações não representam o tamanho real dos invertebrados de solo.

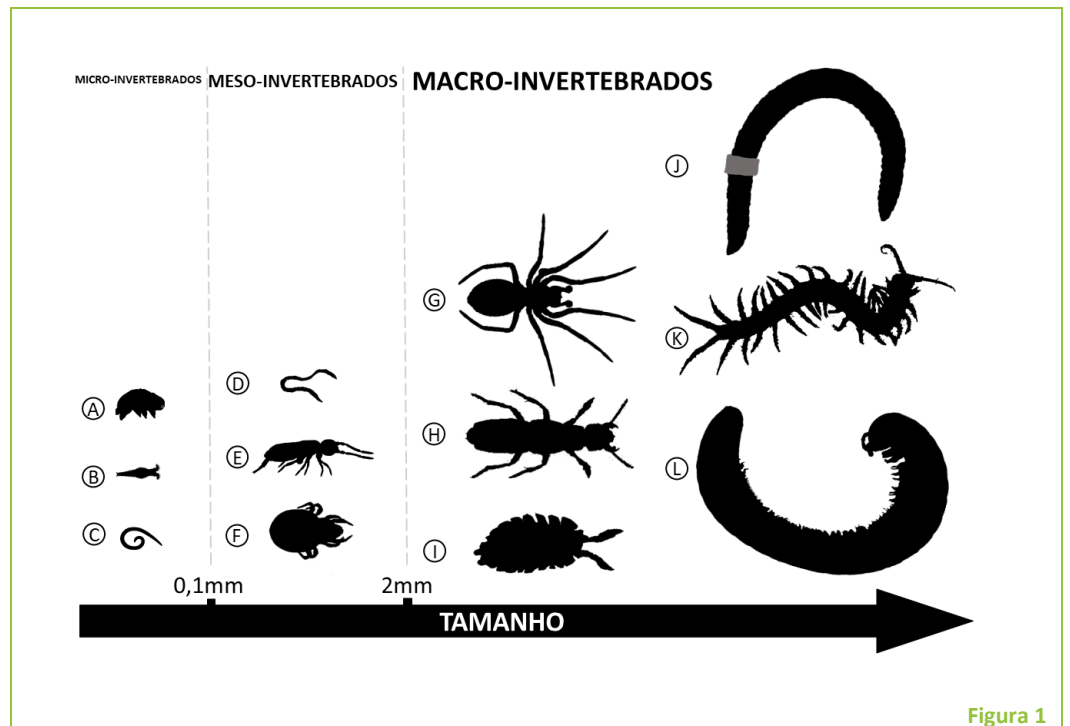


Figura 1

Cada tipo de invertebrado de solo gosta de um tipo diferente de alimento [3]. No geral, alguns invertebrados de solo como as aranhas se alimentam de outros invertebrados. Outros, como os colêmbolos, se alimentam de micróbios como os fungos e as bactérias. Outros ainda, como as minhocas, se alimentam de plantas mortas. Essas relações de alimentação são parte de uma complexa rede trófica que é composta de muitas espécies (Figura 2) e muitas interações.

Figura 2

Exemplos de invertebrados de solo. Micro-invertebrados (<0,1 mm) incluindo (A) urso-d'água e (B) nematóide; meso-invertebrados (entre 0,1–2 mm) incluindo (C) anelídeo oligoqueta, (D–G) colêmbolo, e (H, I) ácaros; macro-invertebrados (>2 mm) incluindo (J) tatu-bola, (K) besouro, (L) minhoca, (M) piolho-de-cobra, (N) centopeia, e (O) aranha. (Créditos das fotos: A, C–O: Frank Ashwood; B: Devdutt Kamath).



Figura 2

Cada invertebrado de solo tem a sua importância para o meio ambiente. Por exemplo, ursos-d'água conseguem colonizar novos ambientes e também servem de alimento para outros organismos. Nematóides ajudam na ciclagem de nutrientes no solo, com a ajuda dos colêmbolos, ácaros, tatus-bola e minhocas. Tatus-bola, colêmbolos e alguns ácaros [4] ajudam na decomposição de folhas e outros seres vivos [5], e eles também ajudam a reter o carbono da atmosfera no solo. Minhocas ajudam na infiltração da água da chuva no solo. Alguns invertebrados de solo se alimentam de organismos que causam doenças em plantas, auxiliando-as na proteção de ataques de pragas. De maneiras diferentes, cada invertebrado ajuda a manter os solos saudáveis, o que é extremamente necessário para a produção de alimentos de qualidade.

A AMEAÇA DOS MICROPLÁSTICOS

Infelizmente, a casa de muitos invertebrados de solo tem sido invadida por poluentes como os **microplásticos**. Microplásticos são pequenas partículas (<5mm) que são criadas de diferentes maneiras (Figura 3; Box 1). Por exemplo, quando dirigimos carros nas ruas e estradas, os pneus se desgastam e liberam microplásticos, que podem ser dispersados pelo vento e acabar nos solos. Além disso, quando nós lavamos roupas, fibras de plásticos se soltam e acabam na

MICROPLÁSTICOS

Pequenas partículas de plástico (menores do que 5 mm) que podem ser prejudiciais ao solo e aos organismos.

Figura 3

Exemplos de microplásticos. **(A)** Colêmbolo e partículas de formaldeído de ureia. **(B)** Colêmbolo e raspsas de plástico de uma garrafa de refrigerante. **(C)** Microesferas de polipropileno. **(D)** Microfibras de polipropileno. **(E, F)** Adultos de nematóides com fragmentos de poliestireno. **(G)** Partículas formadas pela abrasão de pneus. **(H)** Close-up de uma esponja de poliuretano. **(I)** Polipropileno em pó. (Créditos das fotos: A, B: C. Reinhart & D. Daphi, C, I: Stefanie Maaß, D: Carlos Barreto, E, F: Shin Woong Kim, G: Eva Leifheit, H: Walter Waldman).

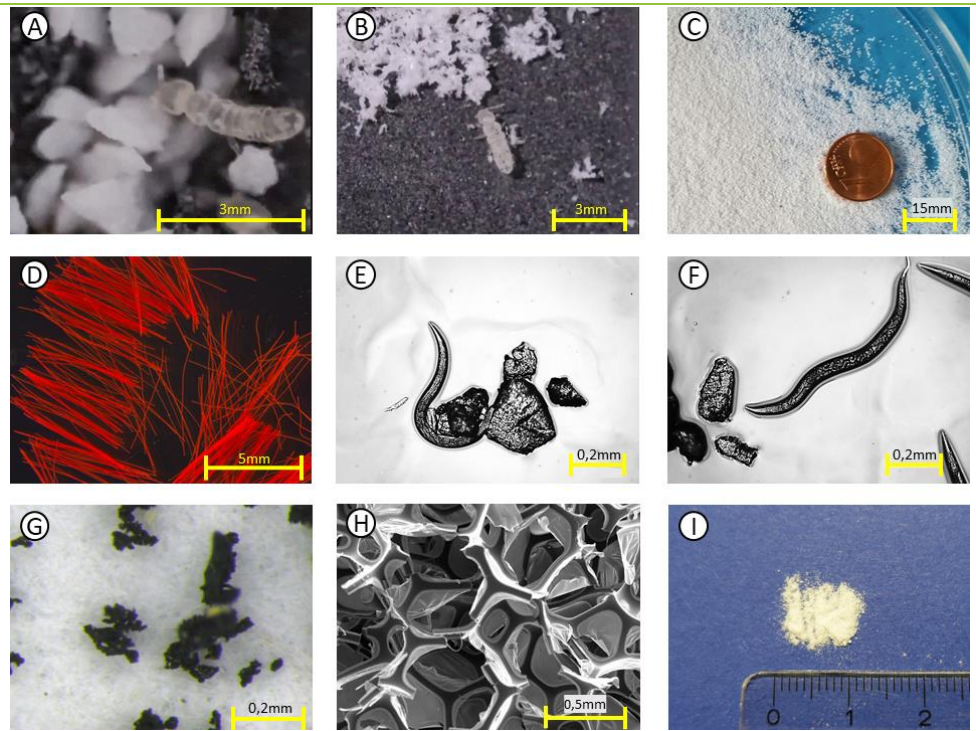


Figura 3

água. Um único casaco de lã pode liberar até um milhão de fibras a cada lavada! Muitas dessas fibras de plástico acabam no esgoto, o que é um problema porque o esgoto tratado pode ser usado para fertilizar solos de plantações que produzem nossos alimentos. Os microplásticos também conseguem entrar no solo através do lixo plástico carregado pela chuva.

Os materiais plásticos frequentemente contêm **aditivos** para mudar suas propriedades físicas e químicas. Esses aditivos podem fazer os microplásticos ainda mais prejudiciais ao ambiente, especialmente quando os microplásticos começam a sofrer **degradação**. Partículas de plástico se tornam frágeis e quebradiças devido à luz solar, água e fricção com partículas de solo. Com o passar do tempo, os microplásticos se quebram em partículas ainda menores chamadas nanoplásticos. Durante a degradação, os aditivos são lixiviados dos microplásticos para o solo. As partículas podem também lixiviar para os tecidos dos organismos, se ingeridas. Infelizmente, nós ainda não temos muito conhecimento sobre os efeitos que a **lixiviação** dos aditivos dos plásticos podem ter no ambiente.

Então, é certo que as partículas de microplásticos afetam os solos, mas como elas afetam os invertebrados de solo? [6] Se nós olharmos para as minhocas como exemplo, com o seu constante apetite por folhas mortas e sua atividade cavadora, nós podemos imaginar que seja comum as minhocas ingerirem partículas de microplásticos e transportá-las para solos mais profundos. As minhocas transportam os microplásticos em sua pele, além de ingerirem essas partículas. O mesmo também já foi visto com colêmbolos. Mas o que isso significa? Por um lado, as partículas de microplásticos serão degradadas quando elas passarem pelo sistema digestório dos organismos. Mas por outro lado, uma vez que as partículas são transportadas para partes mais profundas

ADITIVOS

Materiais químicos que fazem plásticos mais coloridos, mais flexíveis e menos inflamáveis.

DEGRADAÇÃO

A quebra ou a separação de algo em partes menores e mais simples.

LIXIVIAÇÃO

Quando uma substância líquida é liberada da sua fonte sólida.

Box 1 | Origem dos microplásticos no solo

Objeto	Plástico (nome formal)	Comentário
Tintas	Epóxi e resinas alquídicas	Microplásticos são formados quando lixamos paredes pintadas, e quando a tinta se solta das paredes ou outras estruturas.
Sacolas plásticas	Poliétileno de baixa densidade (PEBD)	Quando sacolas plásticas são descartadas de maneira errada elas podem acabar no chão e degradadas pelo Sol, formando microplásticos.
Filme de cobertura de solo agrícola	Poliétileno de baixa densidade (PEBD)	Alguns agricultores usam filme de cobertura de solo para proteger as plantações da perda de água. Esses plásticos são então degradados pela exposição ao sol e formam microplásticos.
Pneus	Poliisopreno (borracha natural)	Embora pneus sejam feitos na maioria dos casos de borracha natural, eles também contêm aditivos, os quais estão atualmente sendo testados para toxicidade.
Espuma	Poliestireno (PS)	Espumas são usadas no isolamento de casas e para proteger produtos durante o transporte armazenamento. Danos e degradação de espumas também geram microplásticos.
Glitter/Purpurina	Poliétileno Tereftalato (PET)	Glitter se solta facilmente de maquiagem e brinquedos, e acaba contaminando o solo.
Garrafas de água	Polipropileno (PP)	A degradação imprópria de garrafas plásticas pode contaminar o solo.
Garrafas de refrigerante	Poliétileno Tereftalato (PET)	
Roupas	Poliésteres e poliamidas	Fibras sintéticas de microplásticos liberadas durante a lavagem de roupas podem acabar no solo através de fertilizantes preparados com lodo/esgoto.

do solo, a degradação é reduzida devido a falta de luz solar e à menor atividade microbiana. Em outras palavras, quanto mais fundo essas partículas são transportadas no solo, mais tempo se levará para serem totalmente degradadas.

MICROPLÁSTICOS PODEM AFETAR A SAÚDE DOS ORGANISMOS DE SOLO

Os organismos de solo sentem mal estar quando eles ingerem microplásticos, e isso já foi visto em minhocas e colêmbolos. Depois de comer os microplásticos, minhocas sofreram diversos problemas de saúde, incluindo inflamação e danos no intestino [7]. Além disso, a ingestão de microplásticos fez com que o sistema imune das minhocas ficasse em estado de alerta durante mais tempo do que o normal. Colêmbolos que ingeriram microplásticos sofreram mudanças nas comunidades bacterianas benéficas que vivem no seu sistema digestivo [8]. Minhocas e colêmbolos cresceram mais devagar, tiveram menos filhotes e morreram mais frequentemente quando ingeriram microplásticos.

Muitos desses problemas também ocorrem em nematóides, mas também trazemos boas notícias: cientistas ainda não detectaram o acúmulo de microplásticos dentro dos organismos ao longo do tempo, o que pode significar

que existe a chance deles não sofrerem muito no final das contas. No entanto, é provável que as partículas de microplásticos sejam transportadas ao longo da cadeia alimentar, de micróbios como fungos, para colêmbolos, para ácaros predadores; ou ainda de micróbios para minhocas, para galinhas [9] – e talvez até para os humanos! Nós ainda não temos muito conhecimento sobre como os microplásticos se movem ao longo da cadeia alimentar, mas a pesquisa desse tópico está avançando muito rapidamente. Apesar destas preocupações, cientistas ainda têm esperança! Pesquisadores descobriram que certas bactérias no intestino de minhocas conseguem digerir microplásticos, o que acelera as taxas de degradação [10]. Isso significa que as bactérias podem ser úteis na destruição de microplásticos no solo. Será que outros invertebrados de solo também consegue fazer o mesmo? Nós simplesmente ainda não sabemos.

O QUE NÓS PODEMOS FAZER PARA PROTEGER OS INVERTEBRADOS DE SOLO?

Você deve estar se perguntando como os cientistas ainda não avançaram mais na pesquisa sobre os efeitos dos microplásticos no solo e nos organismos que vivem nele. Infelizmente esses estudos são bem complicados. Por exemplo, nós não temos um método confiável e efetivo de medir a quantidade de todos os tipos de microplásticos que possa ser usado em todos os tipos de solo. Além disso, muitos estudos consistem em experimentos curtos que são feitos em laboratório, ao invés de estudos longos e em condições naturais do solo no meio ambiente. A grande diversidade de plásticos e aditivos faz com que seja impossível estudá-los em condições reais. Experimentos de laboratório são informativos até certo ponto. Eles também são difíceis porque nem todos os organismos de solo sobreviveriam às condições de laboratório. Mas fiquem tranquilos: os cientistas estão fazendo tudo o que podem para resolver esses problemas. Enquanto isso, vamos listar as formas como você pode ajudar!

Nós devemos trabalhar para reduzir a quantidade de microplásticos de qualquer tipo e tamanho no ambiente. Na verdade você já deve saber como! Evite plásticos que são usados apenas uma vez, como copos descartáveis e canudos. Escolha seu copo ou caneca favorito de metal ou plástico resistente, um canudo de metal, e tenha sempre esses itens na sua lancheira! Também é importante reciclar o plástico sempre que possível: isso ajuda a reduzir a quantidade de plástico que acaba nas águas e nos solos. Evite produtos de beleza que contenham microplásticos em sua composição como alguns condicionadores de cabelo! Existem produtos alternativos que não contêm nenhum tipo de plástico, e alguns aplicativos de celular podem te ajudar a escolher os melhores produtos. Para reduzir o número de fibras de plástico liberadas para o ambiente, tente não jogar no lixo as suas roupas velhas só porque você não as quer mais! Ao invés disso, tente vendê-las, doá-las, ou reusá-las de maneira criativa. Vamos unir forças para salvar os pequenos super-heróis de solo da poluição por microplásticos. Cada esforço é bem vindo, e a união faz a força!

REFERÊNCIAS

- [1] Coleman, D. C., Callaham, M. A., and Crossley, D. A. Jr. 2018. *Fundamentals of Soil Ecology*, 3rd Edn. London: Academic Press. p. 376.2.
- [2] Potapov, A. 2020. Springtails — worldwide jumpers. *Front. Young Minds*8:545370. doi: 10.3389/frym.2020.5453703.
- [3] Erktan, A., Pollierer, M., and Scheu, S. 2020. Soil ecologists as detectives discovering who eats whom or what in the soil. *Front. Young Minds*8:544803. doi: 10.3389/frym.2020.5448034.
- [4] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Armored mites, beetle mites, or moss mites: the fantastic world of oribatida. *Front. Young Minds*8:545263. doi: 10.3389/frym.2020.5452635.
- [5] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Decomposition in peatlands: who are the players and what affects them? *Front. Young Minds*8:107. doi: 10.3389/frym.2020.001076.
- [6] de Souza Machado, A. A., Horton, A., Davis, T., and Maaß, S. 2020. Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*, eds D. He and Y. Luo. Cham: Springer. p. 1–24.7.
- [7] Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., da Costa, J., Duarte, A.C., Vala, H., et al. 2017. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environ. Pollut.*220:495–503. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.0928.
- [8] Zhu, D., Qing-Lin, C., Ana, X., Yanga, X., Christiec, P., Ked, X., et al. 2018. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition. *Soil Biol. Biochem.*116:302–10. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.10.0279.
- [9] Huerta Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Quej, V.K., de los Angeles Chi, J., Sanchez del Cid, L., Chi, C., et al. 2017. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Sci. Rep.* 7:14071. doi: 10.1038/s41598-017-14588-210.
- [10] Huerta Lwanga, E., Thapa, B., Yang, X., Gertsen, H., Salánki, T., Geissen, V., et al. 2018. Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: a potential for soil restoration. *Sci. Total Environ.*624:753–7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.144

AGRADECIMENTOS

We thank Frank Ashwood (Forestry Commission UK), Shin Woong Kim (Freie Universität Berlin), and Devdutt Kamath (University of Guelph) for kindly allowing us to use their soil invertebrate pictures. We thank C. Reinhart, D. Daphi, and Eva Leifheit (Freie Universität Berlin) for the pictures of plastics. We thank Anderson Abel de Souza Machado, Alice A. Horton, and Taylor Davis for

their work on the book chapter on microplastics which was the starting point for this article. MR acknowledges funding from an ERC Advanced Grant (694368). This work was also partly funded by the German Federal Ministry of Education and Research BMBF within the Collaborative Project Bridging in Biodiversity Science-BIBS (phase 2, funding number 01LC1501B). We thank Helen Phillips, Rémy Beugnon, and Malte Jochum, the editors of the Soil Biodiversity collection, for such a great and important initiative. Last, but not least, we thank our young reviewers for their comments.

EDITED BY: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research(iDiv), Germany

CITATION: Barreto C, Rillig M, Waldman W and Maaß S (2021) How Soil Invertebrates Deal With Microplastic Contamination. *Front. Young Minds.* 9:625228. doi: 10.3389/frym.2021.625228

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

COPYRIGHT © 2021 Barreto, Rillig, Waldman and Maaß. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

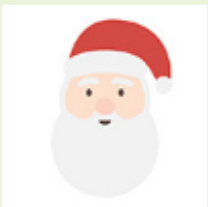
JOVENS REVISORES

ASTÈRE, IDADE: 8

My age is 8. I like reading, doing DIY, drawing, coloring, art, maths, writing, and history. My favorite books are Harry Potter and Percy Jackson.

JUNIE, IDADE: 10

I have many hobbies but the ones that I do the most are cooking, reading, drawing, and sewing. I go to a primary school in a big city in the UK and my age is 10. My favorite books are Percy Jackson, books by Judy Blume, Scarlet and Ivy, and North child.



AUTORES



CARLOS BARRETO

At a very young age, Carlos realized that he liked animals, maybe too much. In school, science was always his favorite discipline, all the way through to high school. That is when he decided that he wanted to do something that involved science and animals. He tried to be a vet; it did not work out. No regrets. So, he became an ecologist a few years later, and since then, he has been working with little animals (mostly insects and mites) in tropical forests, iron ore and limestone caves, boreal forests, urban fields, and peatlands on three continents: South America, North America, and Europe. *cbarreto@uwo.ca; †orcid.org/0000-0003-2859-021X



MATTHIAS C. RILLIG

Matthias likes soil and all the critters in it, not just the animals. Actually, his favorite are the fungi. His favorite soil process is soil aggregation, the formation of the little crumbs of soil. Matthias is a professor at Freie Universität Berlin and gets to think about soil and what is going on in there all day. Currently he is very interested in how soils are being affected by a wide range of factors, including microplastics. †orcid.org/0000-0003-3541-7853



WALTER R. WALDMAN

Walter is a proud Brazilian chemist who loves music, chemistry, food, cinema, and polymers. His first experiment involved chewing gum and the hair of an ex-friend. The experiment did not end well for all the participants, but the adhesive power of polyisoprene was confirmed, and a polymer scientist was born that day. Now he tries to understand the role of polymer degradation on the impact of microplastics. When he has some free time, you can find him reading something about chemistry and polymers. And eating... †orcid.org/0000-0002-7280-2243



STEFANIE MAAß

Stefanie wanted to become a make-up artist or costume designer but due to lack of art skills, she moved on to something completely different: biology. When she was introduced to tropical insects and mites of tree bark during her studies, she became fascinated by their beauty and diversity. She then worked on soil insects and mites and has become a passionate and curious soil ecologist who wants to understand the feeding relationships, reactions to pollutants (like microplastics), and distribution patterns of her beloved soil creatures. †orcid.org/0000-0003-4154-1383

TRADUTOR

CARLOS BARETTO (Autores)