

## O Solo, Fundação da biodiversidade urbana

Bacelar-Nicolau, P. (2019), Universidade Aberta

### Introdução. O Solo

O *solo* pode ser definido como a matéria mineral ou orgânica, não consolidada, existente na superfície da terra e que foi sujeita, e evidencia, o efeito de fatores ambientais e biológicos - clima e organismos vivos - condicionada pelo relevo local, e que atuaram no material parental, durante um determinado período de tempo (SSSA, 2017).

Esta infraestrutura castanha – *solo* - cuja importância passa despercebida para grande parte das comunidades humanas urbanas é, contudo, fornecedora de importantes serviços de ecossistema. O solo representa, entre outros, meio de crescimento para as plantas, habitat para organismos, sistema de purificação, de armazenamento e de fornecimento de água, e sistema de reciclagem de nutrientes e resíduos orgânicos.

Em ambiente urbano, o solo é influenciado por diversos processos físicos e químicos, que alteram as suas funções, bem como a biota que aí se desenvolve. O solo é um recurso natural fundamental que tem de ser conservado para o bem-estar ambiental e humano.

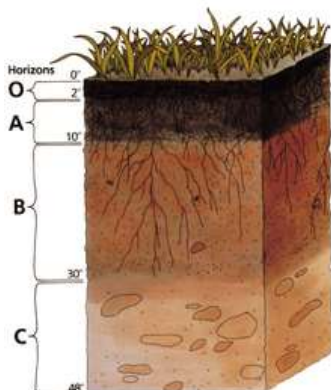
A expansão das áreas urbanas é indubitavelmente acompanhada pela expansão dos solos urbanos. Vejamos o que se sabe sobre o solo, suas características, suas funções - e valores - no ecossistema global, as alterações antropogénicas a que está sujeito em ambiente urbano e como estas alteram o seu potencial de função. Vejamos também aquilo para que devemos estar despertos quando consideramos a gestão do solo em ambiente urbano.

### Fatores naturais e antropogénicos formadores do solo

Em condições naturais, a *pedogénese* (formação de solo) é um processo lento que demora entre centenas a milhares de anos e que é influenciada por 5 fatores:

- material de origem (rocha-mãe e matéria orgânica)
- clima (e.g., temperatura e precipitação)
- biota (vegetação, microrganismos e animais do solo)
- topografia (e.g., declive, elevação e orientação do terreno)
- tempo.

Cada um destes fatores modifica o solo. A diferente combinação de fatores, atuando sobre a rocha-mãe, resulta em solos com diferentes perfis e, portanto, solos com diferentes características (Fig. 1).



**Fig. 1** Perfil de solo, com os horizontes de solo (O, A, B, C). A camada O é camada que contém material orgânico acumulado; a camada A é aquela onde se deposita o húmus, resultado da decomposição dos materiais orgânicos de O. (Fonte: <http://soils.usda.gov/education/resources/lessons/profile/profile.jpg>, Permissão PD-USGov-USDA)

Os solos formados em condições naturais similares, com o mesmo material parental e a mesma vegetação, desenvolvem-se ao longo do tempo e apresentam horizontes características idênticas. Estes solos, formados por processos naturais, apresentam características físicas e químicas que lhes asseguram ser (*i.e.*, ter um número de funções) (Fig. 2):

- meio de crescimento para a vegetação (pois que são reservatório de nutrientes e de água, suporte de raízes),
- suporte para a biodiversidade (diversidade de habitats, espécies e genes),
- sistema de filtração e transformação de substâncias (carbono, água, nutrientes e contaminantes),
- sistema armazenamento de substâncias (carbono, nutrientes),
- fonte de matérias primas,
- suporte físico e cultural de atividades humanas (habitat, transporte, paisagem, eliminação de resíduos, transporte de energia e água),
- arquivo do património geológico e cultural.

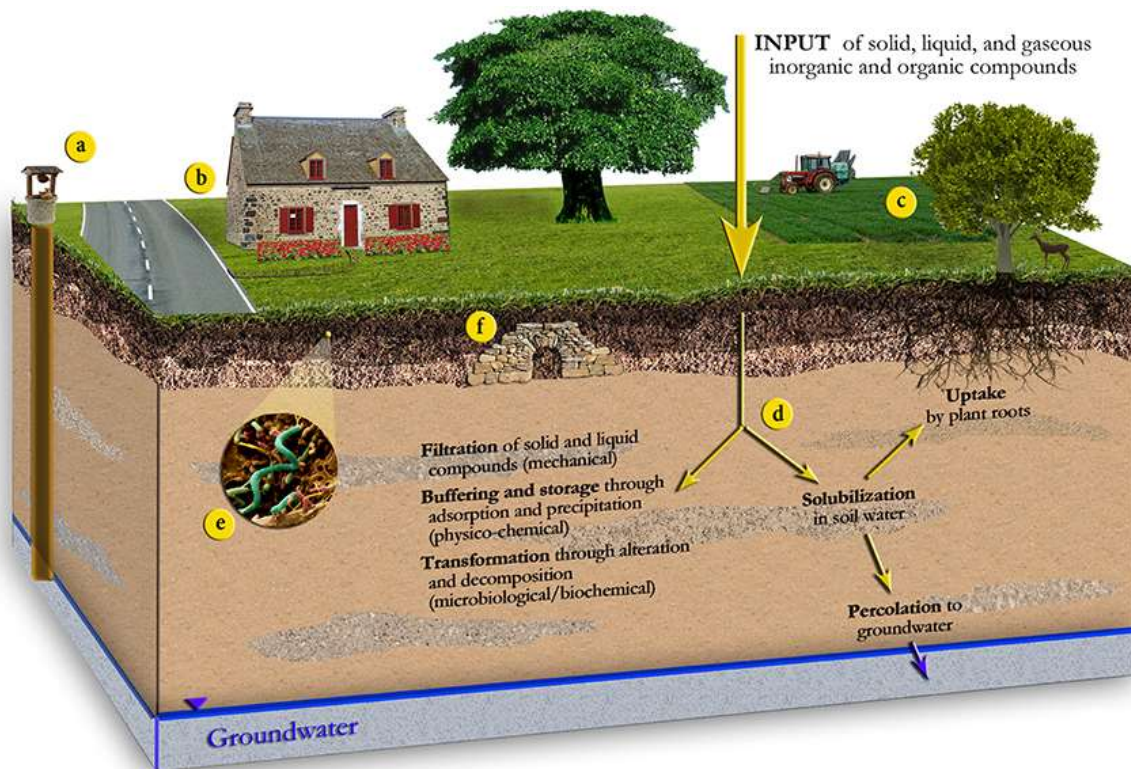


Fig. 2 Esquema indicando diversas funções (ou serviços de ecossistemas) do solo (Adaptado de <https://www.frontiersin.org/research-topics/8544/assessment-and-modeling-of-soil-functions-or-soil-based-ecosystem-services-theory-and-applications-t>).

Em zonas urbanas, para além dos fatores naturais formadores do solo, há ainda a considerar as *ações humanas - passadas e presentes* – que se tornam forças principais na formação dos solos urbanos. Os solos urbanos são o resultado de alterações diversas, história do local, uso do solo atual, cobertura de solo e sua gestão, o que cria perfis heterogêneos. De salientar que o termo “solo urbano” se refere geralmente a solos alterados, e transportados por ação humana, em áreas urbanas. “Solos urbanos” incluem solos de áreas industriais, áreas de circulação rodoviária, áreas mineiras e militares, por

vezes designados conjuntamente por solos *SUITMA* (“soils in urban, industrial, traffic, mining, and military areas”, Morel et al. 2015) (Fig. 3).

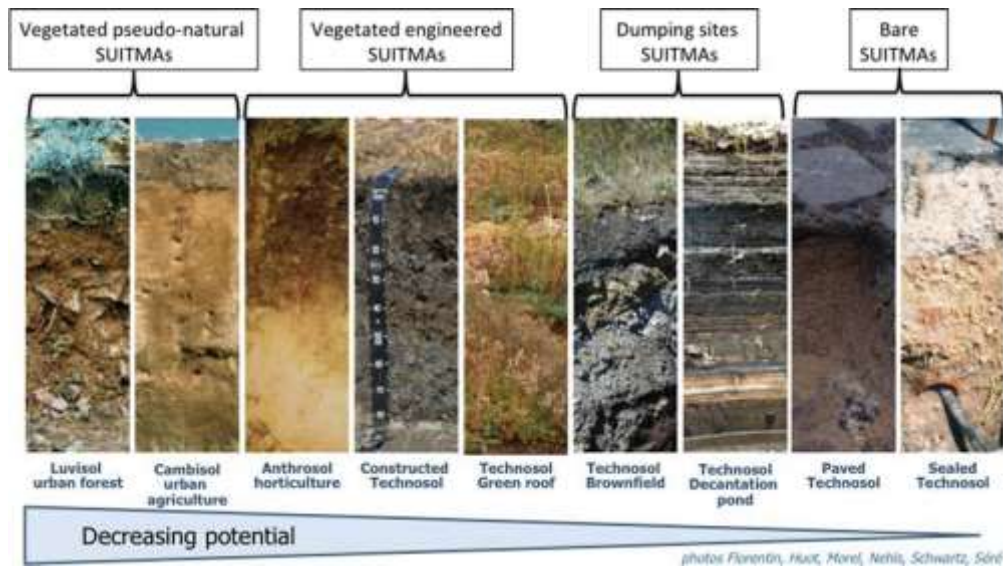


Fig. 3 Perfis heterogêneos de solos urbanos, com indicação do seu potencial enquanto fornecedor das suas funções e serviços de ecossistemas (Adaptado de Morel et al., 2015).

## Propriedades físicas e químicas dos solos urbanos

### Propriedades físicas

As propriedades do solo são alteradas por quatro processos fundamentais: adições, transformações, translocações e perdas.

Em solos naturais não alterados, e com base nos fatores de formação de solo predominantes, podem prever-se, com elevado grau de confiança, as suas propriedades (ex. teor de matéria orgânica, teor de humidade) e a sua produtividade. Ao contrário dos solos naturais, nas zonas urbanas, os solos são geralmente alterados e geridos artificialmente, o que leva frequentemente à alteração e perda dos perfis de solo naturais, bem como à alteração das suas “funções” naturais.

Diversas perturbações físicas influenciam a composição do solo e as suas funções. Essas perturbações podem ser agrupadas nas seguintes categorias (ICOMANTH, 1997):

- erosão acelerada,
- aterro ou nivelamento do solo,
- remoção da superfície do solo,
- contaminação,
- sedimentação,
- práticas agrícolas em profundidade e extração de madeira,
- compactação severa por máquinas,
- saturação artificial.

Assim, por exemplo, quando se prepara o solo para construção de um prédio, procede-se à remoção da camada superficial de solo, aterramento, nivelamento e sua compactação. O material usado no aterramento é uma mistura - de alguns centímetros a metros de profundidade - que pode conter solo natural, materiais de construção, materiais retirados de cursos de água, e cinzas de cavão mineral. A **remoção da camada superficial orgânica do solo** resulta numa perda da capacidade de

retenção de água e afeta a sua infiltração, *i.e.*, a perda da camada superficial do solo torna o movimento da água imprevisível (através dos perfis de solo) e resulta num desafio à sua gestão.

A **cobertura de solo com materiais impermeáveis** – asfalto, cimento, etc. – constitui uma das alterações antropogénicas mais drásticas em áreas urbanas (Fig. 3, tecnosolo selado). Esta impermeabilização do solo quebra as trocas de água e gasosas naturais, na interface solo /atmosfera, e impede o crescimento de plantas e o desenvolvimento e existência de outros organismos, alterando drasticamente as suas propriedades físicas, bem como químicas e biológicas.

Apesar destas limitações, parte dos solos impermeabilizados, pode apresentar alguns serviços de ecossistemas, devido à entrada de água em zonas de rotura ou quebra de superfícies impermeabilizadas, como é o caso da infiltração em asfaltos com quebras, água proveniente de quebras em canalizações de água potável ou de águas de esgoto/residuais (ou tecnosolos pavimentados, Fig. 3). Nestas zonas impermeabilizadas, com quebras, o solo pode funcionar como um “*karst* urbano” (estrutura cársica em ambiente urbano) e pode desempenhar os serviços de ecossistemas de armazenamento e de filtração de água.

Devido ao grau de perturbação existente em solos urbanos, a engenharia de solos está a emergir, em particular, para a melhorar a gestão do escoamento de águas e para fornecimento de meio de crescimento, leve, para a plantas. Exemplos de meios de crescimento leve são os [telhados verdes](#), [jardins de chuva ou bacias de bio-retenção](#) (Tassi et al., 2014; Melo et al. 2014; Szlavecz et al. 2018).

### **Propriedades químicas**

Para além das perturbações físicas do solo, as suas propriedades químicas também são alteradas por diversos fatores, em particular:

- poluição atmosférica urbana,
- deposição de nutrientes e de contaminantes,
- aplicação e derrame de compostos químicos.

A fonte e a concentração dos compostos químicos presentes no solo variam com a zona urbana considerada e depende principalmente da sua idade e história industrial (Szlavec et al. 2018).

Os **metais pesados** mais estudados em solos são: chumbo (Pb), cobre (Cu), níquel (Ni), crómio (Cr), mercúrio (Hg), zinco (Zn) e cádmio (Cd). As suas principais fontes de contaminação de metais pesados são geralmente (atribuídas a): (i) exaustores de veículos automóveis, (ii) tintas, (iii) indústria, (iv) poluição atmosférica e (v) uso de pesticidas. Apenas em algumas situações, a origem desta poluição se deve à composição dos materiais parentais do solo.

A extensão e “distribuição” da contaminação de solos por metais pesados têm sido alvo de numerosos estudos. Muito menos se sabe sobre a contaminação de solos por **compostos orgânicos e outros poluentes**, como amianto ou compostos sintéticos. As origens dos compostos orgânicos são múltiplas e incluem: (i) emissões de veículos automóveis, (ii) combustão de carvão fóssil, (iii) queima de biomassa, e (iv) eliminação de resíduos. Alguns destes compostos/poluentes orgânicos são *persistentes* e, portanto, mantêm-se no solo por períodos longos; outros compostos/poluentes orgânicos são *móveis* e podem migrar para os corpos de água, causando problemas ambientais. Os poluentes orgânicos são um problema crescente, devido à crescente urbanização, em particular em países em desenvolvimento (Szlavec et al. 2018).

Os solos urbanos diferem também dos solos nativos correspondentes, por serem geralmente *mais alcalinos* que estes, o que é atribuído ao uso de cimento na indústria de construção (Pouyat et al., 2015). Numa outra situação, onde os solos nativos são ácidos, a manutenção de extensos relvados (ex. campos de golf, relvados residenciais) requer a adição rotineira de pó de cal para promover o

crescimento da relva. A **acidez/alcalinidade** (pH) do solo é um fator importante a ter em conta nas suas propriedades químicas, uma vez que o valor de pH afeta a disponibilidade de metais no solo e afeta também a sua absorção pelas plantas e pelos invertebrados do solo.

A prática de **remoção da camada superficial do solo** (já referida anteriormente por alterar as propriedades físicas do solo) também altera as propriedades químicas do solo. Nesta camada de solo localiza-se a maioria dos compostos orgânicos, bem como azoto, fosfato e potássio. A sua remoção causa um empobrecimento drástico e diminui grandemente a produtividade do solo remanescente, que para além de deficiente em nutrientes perde a capacidade de fixar a água. O uso de fertilização e de irrigação dos relvados, para a sua manutenção em espaços urbanos, para suprir as deficiências nutritivas e de água, resulta frequentemente *no excesso local de nutrientes e a possibilidade de lixiviação* dos mesmos para as águas superficiais e subterrâneas, causando a sua eutrofização frequentemente acompanhada por *blooms* algais.

Nos climas frios, a utilização de saís [descongeladores das estradas](#) também pode causar *stress* à vegetação e fauna envolvente.

## Comunidades em solos urbanos

Um metro quadrado de solo pode albergar centenas de milhões ( $10^8$ - $10^9$ ) de microrganismos (bactéria, archaea e fungos), centenas de minhocas, milípedes e isópodes, dezenas de milhão de Collembola, centenas de milhão de ácaros, e milhões de nematodes. Para além destes, no solo encontram-se representantes de todos os principais grupos de invertebrados terrestres. Devido à sua enorme e diversidade biológica (em termos de diversidade biológica, biomassa e processos ecológicos) que, contudo, passa despercebida ao comum mortal, o ecossistema do solo tem sido designado por alguns autores como “*a floresta tropical do homem pobre*” (Giller, 1996). O solo é essencial ao suporte da vida no planeta.

Considerando, por simplicidade, a biodiversidade do solo, em termos da sua **riqueza específica** (*i.e.*, não considerando a biodiversidade ao nível ecossistémico ou genético), podemos considerar 3 categorias principais, em função da sua **dimensão relativa** (Swift et al., 1979) (Fig.4):

- **Microfauna:** até 0,1 mm (*bactérias, fungos, nematodes, protozoários, rotíferos*)
- **Mesofauna:** 0,1 mm – 2 mm (*ácaros, artrópodes ápteros, pequenos anelídeos*)
- **Macrofauna:** acima de 3 mm (*maioria dos insetos, milípedes, isópodes, aranhas, caracóis, lesmas, minhocas*)

Em termos **funcionais**, a biota do solo é classificada em 3 grupos (Turbé et al., 2010) que fazem um paralelo com os três anteriores grupos de diversidade biológica:

- **Transformadores químicos** (principalmente bactérias e fungos)
- **Reguladores biológicos** (principalmente nemátodes e mesofauna)
- **Engenheiros do ecossistema** (principalmente minhocas, formigas, térmitas e vertebrados)

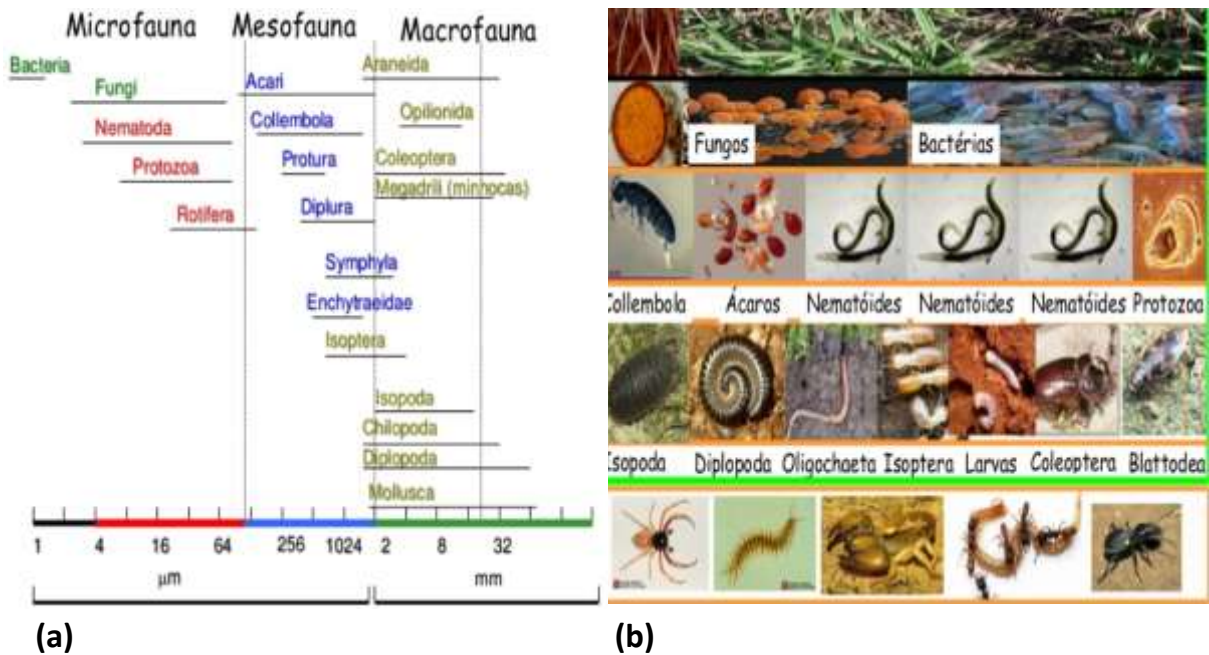


Fig. 4 Biodiversidade do solo. (a) Categorização em termos de diversidade de espécies e em função da sua dimensão relativa (Adaptado de Swift et al, 1979). (b) Exemplos de biodiversidade do solo.

A biodiversidade encontrada no solo está relacionada com a (i) complexidade estrutural do solo, (ii) distribuição dos recursos, e (iii) diversidade das condições microambientais, cada uma das quais se altera com o tempo, criando, assim, uma heterogeneidade de condições ambientais (à escala de micrones ou de metros) e uma imensa diversidade de formas de vida.

A elevada diversidade biológica do solo está também patente, quando se considera a biodiversidade genética a nível microbiano: análise molecular de sequência de DNA de solos urbanos, como o do Central Park, NY, indica uma diversidade de fenótipos similar àquela que se encontra em outros solos do planeta. De facto, vários estudos indicam que os solos urbanos e industriais podem apresentar maior biodiversidade e atividade biológica do que era previsível pelas suas características físico-químicas.

Embora alguns habitats urbanos alberguem uma rica diversidade biológica, diversas alterações físicas (e.g. processos de construção), com remoção da vegetação e camada superficial do solo, terraplenagem, compactação e impermeabilização de solos têm grande impacto na comunidade biológica, resultando na perda da biodiversidade local. A alteração das condições químicas, em particular a diminuição do teor de matéria orgânica ou de água, o pH e a presença de compostos poluentes têm efeitos similares na comunidade biótica do solo (revisto em Szlavecz et al. 2018).

#### **Quantificando a diversidade biológica do solo**

A biodiversidade abrange a sua diversidade em todos os níveis de organização biológica, mas foca-se (por razões metodológicas) principalmente na diversidade genética, diversidade específica e diversidade de ecossistemas.

Para além do nível de organização biológica, a diversidade biológica pode ser medida em diferentes escalas espaciais: (i) *Diversidade alfa* ( $\alpha$ ) é a diversidade local, ou número de espécie num determinado local (expressa como riqueza específica ou como índice de diversidade biológica), (ii) *Diversidade beta* ( $\beta$ ) reporta às diferenças na composição das espécies entre dois lugares ou tempos (pode ser definida como a razão entre a diversidade gama (regional) e a diversidade alfa (local)), (iii)

*Diversidade gama* ( $\gamma$ ) é conjunto total de espécies de um conjunto de locais (número total de espécies observado em todos os habitats de um local).

Contudo, e apesar dos inúmeros estudos, é quase impossível fazer uma avaliação da biodiversidade total de um local, devido à sua imensa diversidade, a limitações metodológicas, e às lacunas de conhecimento existentes para alguns grupos taxonómicos.

### **Valorização da biodiversidade e serviços de ecossistemas do solo**

Os organismos do solo não são carismáticos, para que à semelhança de alguns vertebrados (tigre, elefante, gorila, koala, etc.) a sua “elegância”, “beleza”, “fofura” ou “simpatia” (aos olhos humanos), seja um fator importante na sua valorização e conservação.

Contudo, os organismos do solo são essenciais para o desenvolvimento de um solo com as características necessárias às funções / serviços essenciais que este apresenta, *i.e.*, suporte para crescimento de vegetação, sistema de filtração e de armazenamento de água, sistema de reciclagem de nutrientes, etc., sem os quais o ecossistema global colapsa e, naturalmente a sobrevivência de todas as espécies biológicas é posta em risco, incluindo a nossa.

Dada a complexidade estrutural e funcional dos ecossistemas, a perda de uma dada(s) espécie(s) pode não afetar a função global do ecossistema e, assim, alguns organismos ou grupos de organismos do solo podem ser considerados funcionalmente redundantes. Esta situação pode acontecer quando diversos organismos apresentam a mesma função ecológica no ecossistema, e, assim, a perda de uma espécie pode deixar um “vazio” que rapidamente é ocupado – *funcionalmente* - por outra espécie com função ecológica similar. Casos existem, contudo, em que a perda de uma espécie pode levar ao rápido desequilíbrio do ecossistema, pois esta tem funções ecológicas únicas. Exemplos disto são (i) os microrganismos fixadores de azoto ou mineralizadores de azoto ou (ii) as minhocas, que mesmo em número reduzido são de importância extrema para manter a estrutura da comunidade. Espécies ou grupos funcionais com funções únicas, e cuja perda resulta no colapso do ecossistema, são designadas **espécies chave** ou **grupos chave** (*Keystone*). Regra geral, quanto maior for a diversidade biológica de um ecossistema, maior a sua robustez e resiliência.

A importância da diversidade biológica para os ecossistemas, e para o bem-estar humano (como elemento dos ecossistemas), passou a ficar mais evidente (ao ponto de vista humano) a partir de 2005, com a publicação do *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005). Esta avaliação dos ecossistemas valoriza a biodiversidade pelos serviços de ecossistemas que estes fornecem (Fig. 5):

- **Suporte** (necessários para a produção de todos os outros serviços de ecossistemas, e.g. Formação do solo; Ciclos de Nutrientes; Produção Primária)
- **Aprovisionamento** (produtos obtidos dos ecossistemas, e.g., Alimento; Água Potável; Combustível; Fibras; Compostos bioquímicos; Recursos Genéticos)
- **Regulação** (benefícios obtidos através da regulação dos processos dos ecossistemas, e.g., Regulação do clima; Regulação de doenças; Regulação da água; Purificação da água)
- **Cultural** (benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, e.g., Espirituais e religiosos; Recreio e turismo; Estéticos; Inspiradores; Educacionais; Sensação de lugar; Herança cultural)



Fig. 5 Serviços de ecossistemas (MEA, 2005).

Muitas das funções dos solos entram nestas categorias de serviços, quer se refiram a solos naturais quer a solos urbanos, embora haja diferenças particulares de cada situação (Tabela 1). Por exemplo, a predominância de superfícies impermeabilizadas em solos urbanos, aumenta a taxa de escoamento superficial. Contudo, os solos compactados urbanos apresentam uma baixa taxa de infiltração da água de chuvas, e os solos saturados (em água) tornam-se anaeróbios, o que se torna prejudicial para organismos do solo e promove a emissão de gases com efeito estufa.

**Tabela 1.** Funções importantes do ecossistema do solo em ambiente urbano e grupos taxonómicos envolvidos nessas funções (adaptado de Szlavecz et al., 2018).

Funções do solo	Funções da biota no solo	Grupos taxonómicos importantes
<b>Decomposição</b>	“Moagem” de resíduos; Decomposição química	Isópodes, milípedes, formigas e minhocas Bactérias e fungos
<b>Reciclagem de N</b>	Fixação de N; Mineralização de N	Grupos específicos de bactérias
<b>Sequestro de C</b>	Produção de matéria orgânica do solo	Bactérias e fungos Raízes das plantas
<b>Infiltração e armazenamento de água</b>	Descompactação do solo, criação de macróporos, Produção de matéria orgânica do solo	Formigas e minhocas, pequenos mamíferos, raízes das plantas
<b>Meio para crescimento vegetal</b>	Melhorar estrutura do solo; Melhorar disponibilidade de nutrientes; Misturar componentes minerais e orgânicos do solo	Micorrizas, fungos, minhocas Fungos e bactérias Minhocas, térmitas e formigas
<b>Recurso para vida “selvagem”</b>	Alimento para aves de alimentação no solo e insetívoras	Minhocas, larvas e caracóis
<b>Controlo de pragas</b>	Regulação de populações de espécies nocivas (pragas)	Aranhas, centípedes, nematodos predadores, escaravelhos e ácaros
<b>Resistência e resiliência</b>	Melhor resistência a perturbações, recuperação rápida após perturbações	A rede complexa de biota do solo

A **decomposição, reciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono** são os principais *serviços de suporte* prestados pelo ecossistema do solo.

A base da cadeia alimentar do solo são os detritos vegetais na forma de folhas, raízes e madeira morta. A entrada contínua ou sazonal desses recursos é essencial para manter a fertilidade do solo e uma comunidade biológica saudável no solo. A biota do solo degrada, decompõe, liberta os nutrientes presentes na matéria morta, disponibilizando-os para serem incorporados noutros organismos em camadas de solo mais profundas, assim contribuindo para o desenvolvimento de um solo de superfície saudável.

Em zonas urbanas, por razões estéticas, ou outras, este material vegetal morto é frequentemente removido da superfície do solo, quebrando o natural ciclo de nutrientes do solo. Como resultado desta quebra de ciclos de nutrientes, torna-se necessário adicionar adubos e fertilizantes artificiais (em substituição dos nutrientes naturais ou matéria orgânica natural), com as consequências já referidas anteriormente. Reciclar o material vegetal morto no seu local de origem reduz a necessidade de adição de fertilizantes. Preservar os resíduos vegetais na superfície do solo e gerir a paisagem urbana com diversidade de tipos estruturais de plantas, aumenta a complexidade do habitat e melhora os serviços de ecossistemas desse local: (i) aumento de diversidade biológica do solo; (ii) aumento de taxas de decomposição de nutrientes; (iii) diminuição de escoamento de águas pluviais (Ossola et al. 2016; rev. Szlavecz et al. 2018)

A **agricultura urbana** é o mais óbvio *serviço de ecossistema de aprovisionamento* prestado pelo solo urbano. Tem aumentado de importância tanto em países em desenvolvimento como em países desenvolvidos. Atualmente mais de 800 milhões de pessoas praticam alguma forma de agricultura urbana (FAO, 2017), a qual: (i) por vezes faz usos de terras abandonadas; (ii) pode dar acesso a alimento (especialmente importante para as classes economicamente desfavorecidas); (iii) fornece benefícios educacionais, recreacionais, de sensação de pertença e de herança cultural, e serve como forma de reconexão entre a os humanos e a natureza.

Outros dois serviços de ecossistemas únicos ao solo urbano, são (i) a *remoção de resíduos alimentares*, levada a cabo por artrópodes, principalmente formigas (controlando de certa forma a sua utilização por animais considerados nocivos, como os ratos); (ii) *provimento de alimento* (a diversa biota do solo, *e.g.*, minhocas, insetos) *para aves* na cadeia alimentar urbana.

Os benefícios da biodiversidade do solo, relativos aos serviços prestados pela biodiversidade do solo foram estimados, globalmente para o planeta, em um trilhão de dólares americanos/ por ano (Pimentel et al., 1997).

Em resumo, a diversidade e abundância das comunidades do solo refletem as características físicas e químicas particulares dos habitats urbanos considerados, e participam nos processos de desenvolvimento do solo (da mesma forma que nos solos naturais). A diversidade de biota no solo é essencial para que este mantenha as suas funções e serviços de ecossistemas.

### **Diversidade de paisagens de solo urbano**

A característica mais distintiva dos solos urbanos é a sua heterogeneidade espacial, a qual resulta predominantemente da prática de divisão e subsequente manipulação, de áreas de terreno, pelos seus diferentes proprietários. A variedade dos perfis de solo, conjuntamente com a diversidade de paisagens urbanas, é a principal razão para a inexistência de sistemas de classificação do solo urbano, o qual se sugere que seja globalmente definido por “antroposfera” (Capra et al., 2015)

Enquanto as principais características dos solos naturais são previsíveis se o clima, o material parental, a idade e a biota forem conhecidos, o mesmo não se verifica nos solos urbanos, que formam frequentemente mesclas com um historial, estrutura e composição grandemente desconhecidos. A componente biológica destas paisagens urbanas fragmentadas é igualmente variável, o que torna difícil a previsão de propriedades do solo, como taxas de infiltração ou de decomposição.

Apesar da heterogeneidade / irregularidade da paisagem do solo urbano no que se refere às suas características físicas, químicas e biológicas, os solos urbanos podem apresentar algumas características fundamentais, em resultado de manipulações / gestão antropogénica similar. Por exemplo, os solos de superfície urbanos frequentemente apresentam em comum um pH mais alcalino e um conteúdo de metais pesados superior àqueles dos solos naturais.

### **Gestão do solo urbano**

Como já referido, os solos podem fornecer serviços de ecossistema em áreas urbanas. Contudo, estes serviços de ecossistemas encontram-se limitados pelo facto de grande parte do solo urbano se encontrar impermeabilizado, alterado ou contaminado por ação humana.

Quando considerando a remediação, restauro ou reutilização de uma área, é necessário planeá-la tendo em mente a avaliação prévia do solo, bem como os objetivos da intervenção de remediação,

etc. O esforço e complexidade do processo de avaliação do solo também deve ter em conta o uso futuro e os serviços de ecossistemas desejados. Por exemplo, quando o objetivo é a cultivo de flores bastará fazer uma avaliação da camada superficial do solo, mas quando o objetivo inclui a redução do escoamento de águas em superfície a avaliação do solo deverá ser feita a uma maior profundidade.

A avaliação rotineira contempla - atualmente - apenas as características físico-químicas do solo; a inclusão da avaliação da componente biológica do solo seria importante, em particular quando se estudo o potencial ecológico de uma área de solo.

Na prática da gestão do solo urbano é também importante que se considere o conhecimento existente sobre as interações entre o ecossistema do solo e o crescimento de plantas para, por exemplo: (i) diminuir a adição de fertilizantes artificiais e excesso de água, promovendo a formação de matéria orgânica e nutrientes, de formas naturais, (ii) diminuir a utilização de herbicidas ou inseticidas (que geralmente fazem uso de produtos químicos generalistas que muitas vezes matam toda as formas de vida numa área de tratamento, incluindo espécies inofensivas ou mesmo benéficas), e seguindo estratégias de controlo de pragas baseadas nos ecossistemas, (iii) introduzir espécies benéficas, como nemátodes (agentes biocontroladores de algumas pragas de insetos), minhocas para promover a compostagem do solo, ou fungos micorrízicos (associação a raízes da árvores).

Em áreas urbanas em contração, como Detroit ou Baltimore nos EUA, muitos edifícios poderão vir a ser demolidos. A futura utilização das áreas de solos não impermeabilizadas – inclusive como áreas verdes de recreação, hortas urbanas ou outras – carece de uma avaliação prévia da “saúde” do solo, o que pode incluir indicadores biológicos, químicos ou físicos, em função do objetivo planeado para o solo em questão. Contudo, e regra geral, esta avaliação de risco é apenas levada a cabo em situações graves, pois requer especialistas, tempo e dinheiro. Para além disso, atualmente não existem *standards* de risco universais associados à qualidade do solo, ao nível dos contaminantes (Nassauer e Raskin, 2014).

No que se refere à União Europeia, atualmente não existe uma legislação abrangente e coerente em matéria de proteção do solo (urbano ou não). Apenas alguns dos seus Estados Membros dispõem de legislação específica. Embora as diversas políticas da UE em domínios como a agricultura, a água, os resíduos, os produtos químicos e a prevenção da poluição industrial contribuam indiretamente para a proteção dos solos, estas têm outros objetivos e âmbito de ação, e são insuficientes para garantir um nível adequado de proteção de todos os solos na Europa ([https://ec.europa.eu/environment/soil/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm)). Um guia de boas práticas para limitar, mitigar ou compensar a impermeabilização dos solos foi também desenvolvido, como documento de trabalho pelos serviços da Comissão Europeia (European Union, 2012). A nível nacional, a perceção da importância do solo em contexto urbano tem o seu reflexo nos Planos Diretores Municipais (PDM), tendo em vista o correto planeamento e ordenamento do território, em particular no que concerne a ocupação urbana do solo.

## Conclusões

Intuitivamente compreendemos que um solo saudável é a fundação/ a base para o crescimento vegetal e para os diversos serviços de ecossistemas, e, portanto, para o bem-estar e saúde humanos. O solo apresenta-se, contudo, em crescente degradação, ao nível global do planeta. A erosão, perda da camada orgânica superficial, compactação, salinização, deslizamentos de terra, contaminação, e impermeabilização ... todos têm impactos negativos na saúde humana, nos ecossistemas naturais, e

na economia. Existe uma falta generalizada de sensibilização e de conhecimento para o papel do solo e da biodiversidade do solo (desde os microrganismos à macrofauna) na sustentação do ecossistema do solo, para o bom planeamento urbano. É possível que esta falta de sensibilização e de algum conhecimento sobre os solos, sua biodiversidade e funções/ serviços associados possam explicar a inexistência de regulamento ou legislação para proteger ou melhorar a biodiversidade do solo. No entanto, o conhecimento existente sobre ecologia do solo permite, desde já, identificar algumas boas práticas a ter em conta na boa gestão do solo urbanos.

## Referências

Baveye PC; Baveye J; Gowdy J (2016) "Soil "Ecosystem" Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground", *Frontiers in Environmental Science*, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>

Capra GF; Ganga A; Grilli E; Vacca S; Boundonno A (2015) "A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective", *J. Soils Sediments*, DOI: 10.1007/s11368-015-1110-x.

Danoff-Burg, James A. "[The terrestrial influence: geology and soils](#)". [Earth Institute Center for Environmental Sustainability](#). New York: [Columbia University Press](#). Acesso em: 17dezembro 2017.

European Union (2012) Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing ([https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_en.pdf))

FAO (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: [www.fao.org/urban-agriculture/en/](http://www.fao.org/urban-agriculture/en/). Acesso em 27 agosto 2019.

Giller PS (1996) "The diversity of soil communities, 'the poor man' rainforest", *Biodiversity and Conservation*, 5:135-168.

ICOMANTH (1997) International Committee on Anthropogenic soils. Disponível em: [www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/taxonomy/?cid=stelprdb1262283](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/taxonomy/?cid=stelprdb1262283). Acesso em 27 agosto 2019.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being*. Island Press. Washington, DC.

Melo TAT; Coutinho AP; Cabral JJSP; Antonino ACD; Cirilo JA (2014) "Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas", *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 14: 147-165. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000400011>.

Morel JL, Chenu C, Lorenz K (2015) Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs), *Journal of Soils and Sediments*, 15: 1659–1666. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0>

Ossola A; Amy K, Hahs AK, Nash MA, Livesley SJ (2016) "Habitat Complexity Enhances Comminution and Decomposition Processes in Urban Ecosystems", *Ecosystems*, 19: 927–941. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9976-z>

Pimentel et al. (1997) "Economic and Environmental benefits of biodiversity", *BioScience*, 47: 747-757.

Pouyat et al. (2015) A global comparison of surface soil characteristics across five cities: a test of the urban ecosystem convergence hypothesis", *Soil Science*, 180:136-145.

SSSA (2017) *Soil Science Society of America Glossary of Soil Science Terms*. Disponível em: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detal/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054280](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detal/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054280). Acesso em 27 agosto 2019.

Swift M J, Heal OW, Anderson JM (1979) *Decomposition in terrestrial ecosystems*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1–372.

Szlavec K, Yesilonis I, Pouyat R (2018) "Soil as a Foundation to urban biodiversity", In A. Ossola and J. Niemela (ed) *Urban Biodiversity, from research to practice*; pp.18-35, Routledge, NY. ISBN 978-1-138-22439-1.

Tassi R; Tassinari LC da S; Piccoli DGA; Persch CG (2014) "Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais". *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 14: 139-15. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000100012>

Turbé A et al. (2010) *Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment)

Voroney RP & Heck RJ (2007). "The soil habitat". In Paul, Eldor A. (ed.). *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (PDF) (3rd ed.). Amsterdam: Elsevier. pp. 25–49. doi:10.1016/B978-0-08-047514-1.50006-8. ISBN 978-0-12-546807-7.

