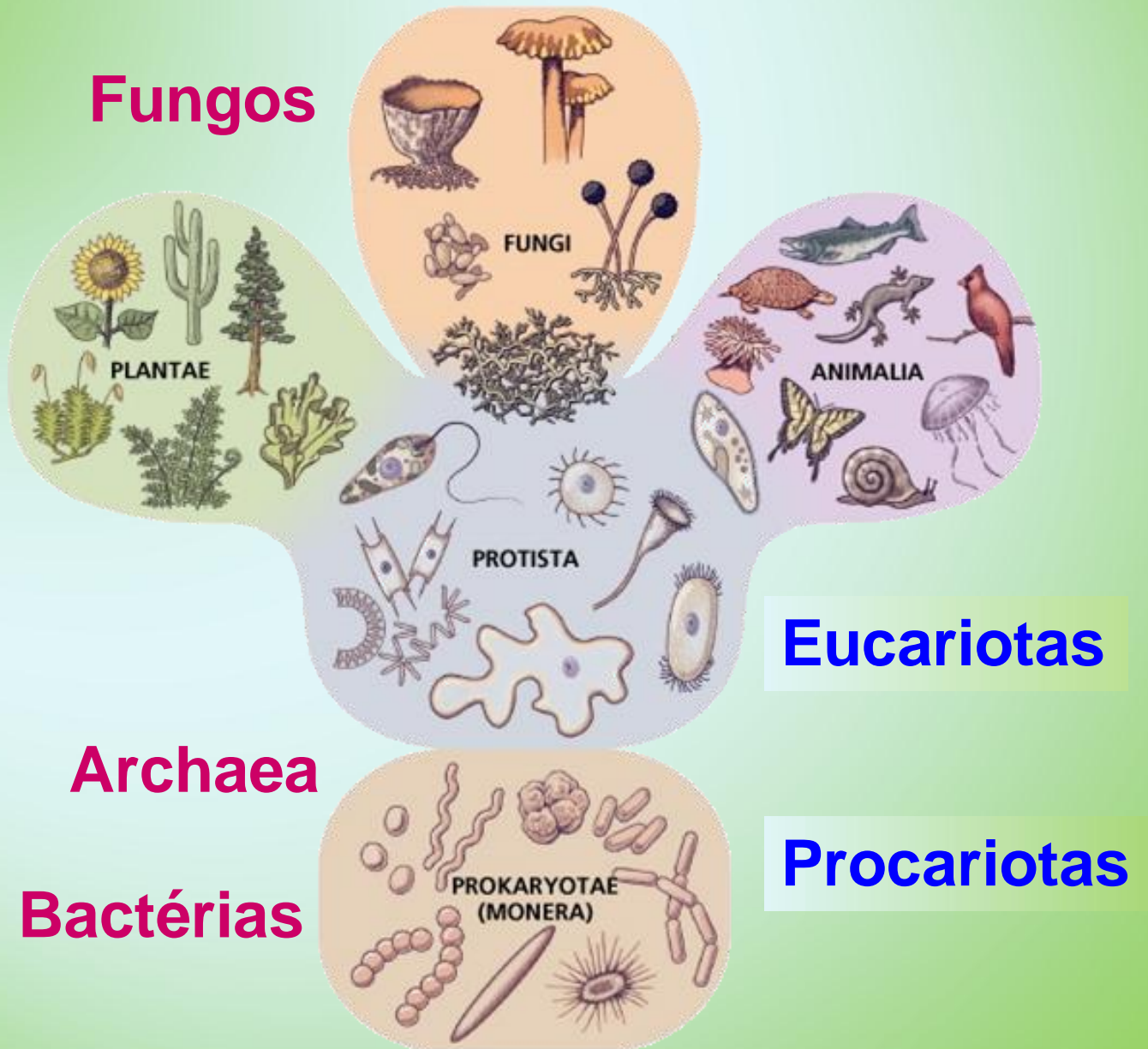


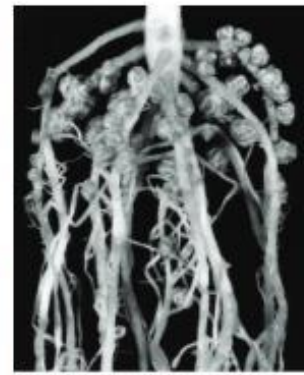
BIOLOGIA DO SOLO

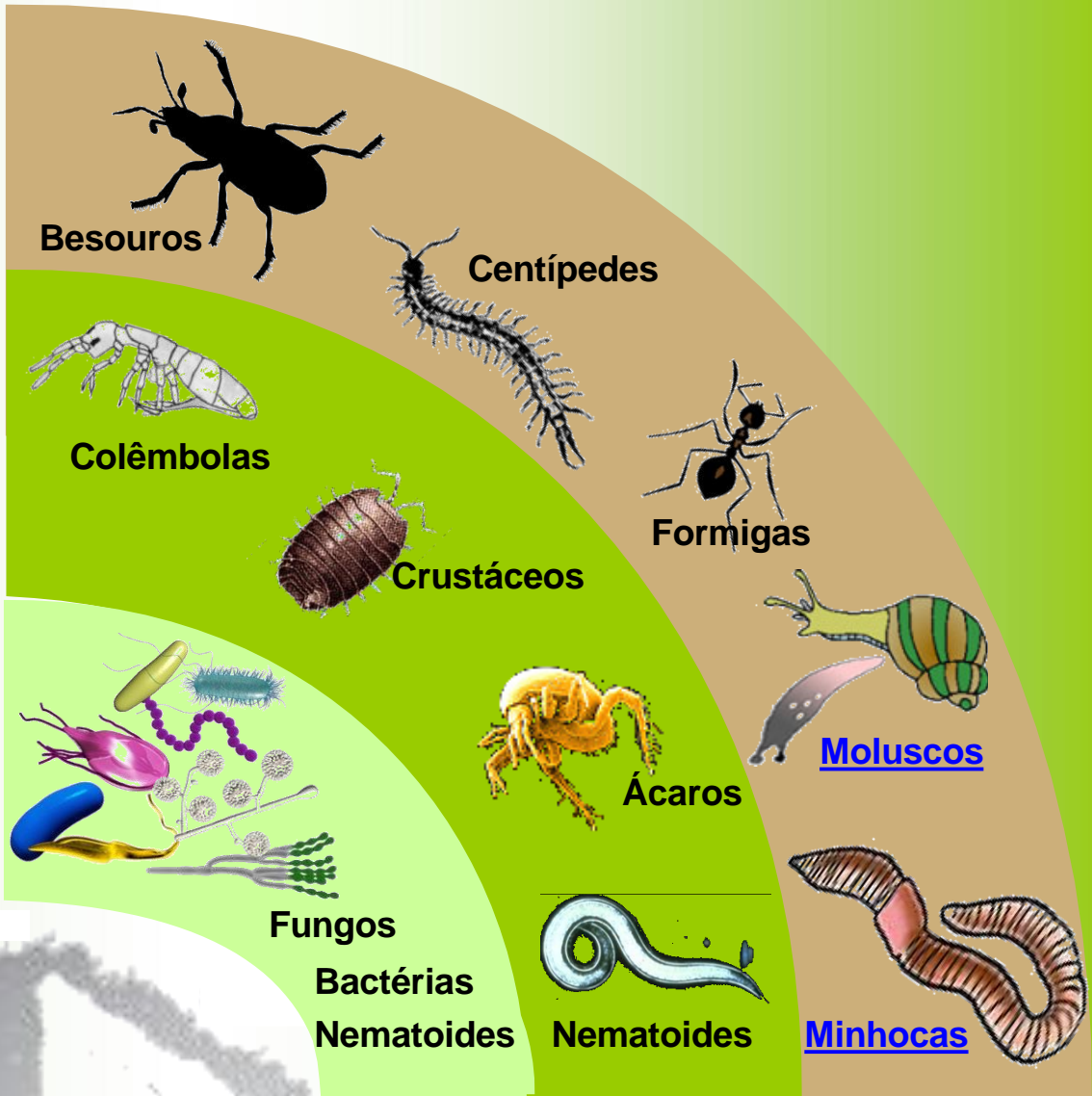
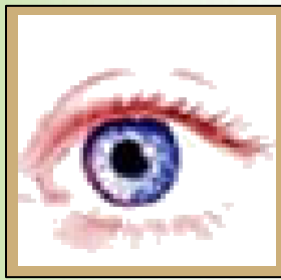


CELITO LUIZ LORENZI

Organismos do solo



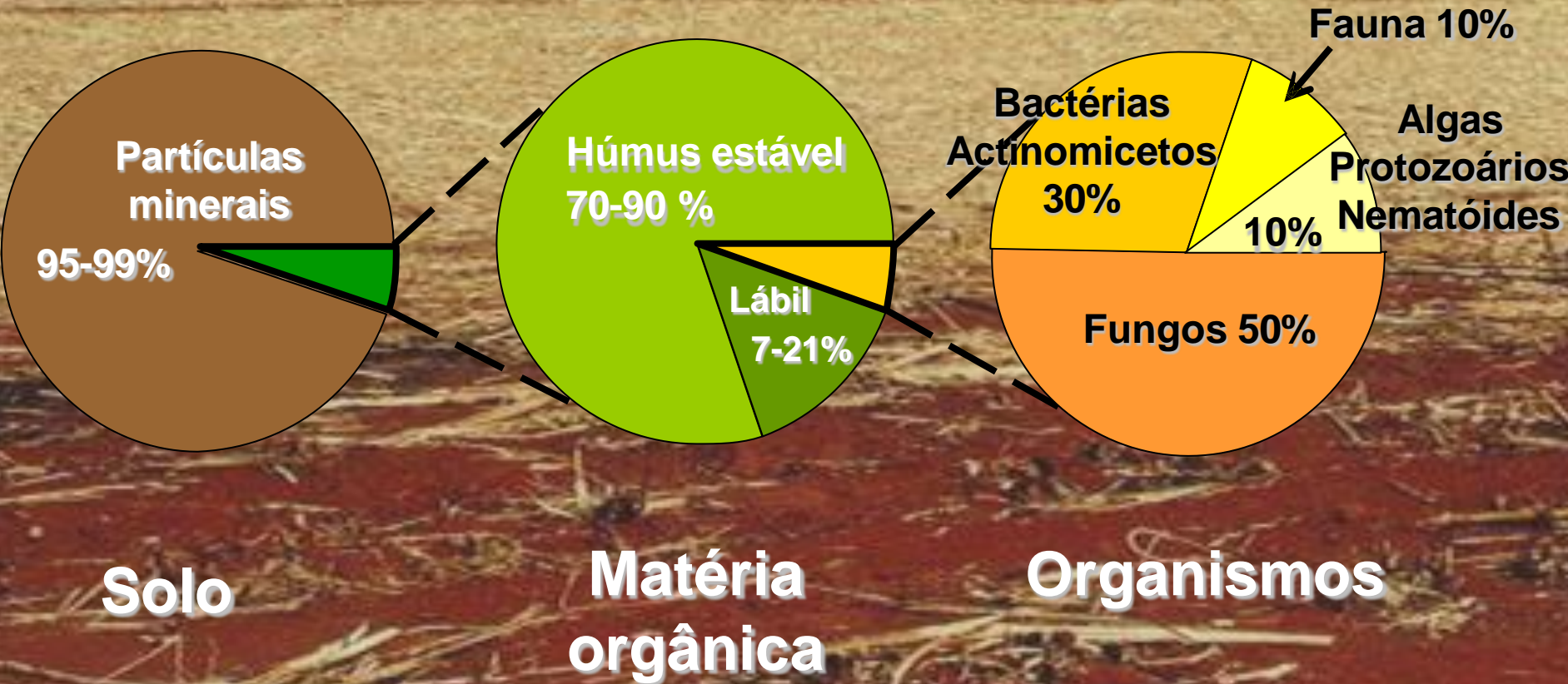




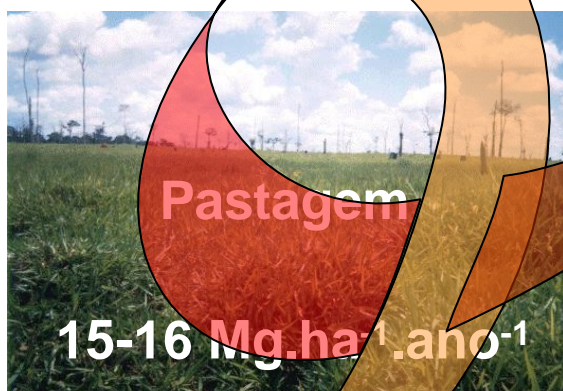
Dimensões



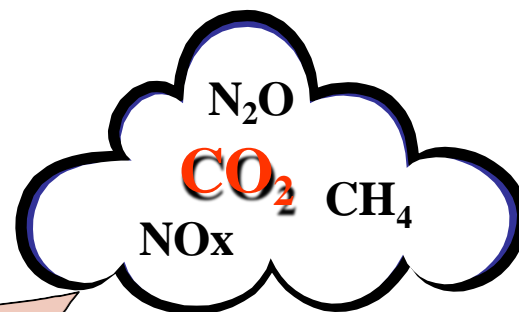
Componentes da matéria orgânica do solo



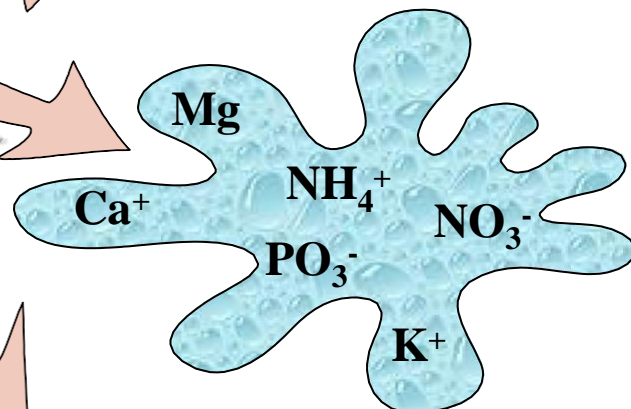
Serapilheira ou palhada produzidas anualmente



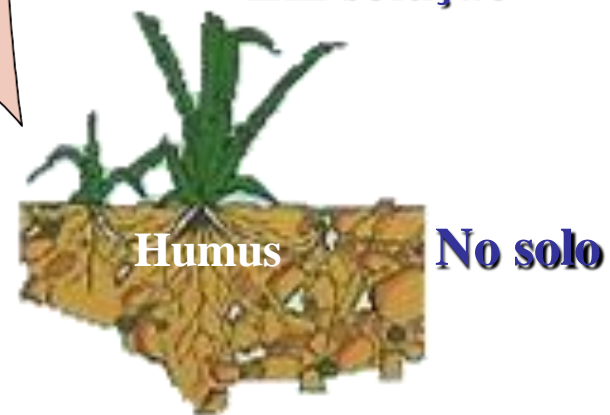
Organismos do solo



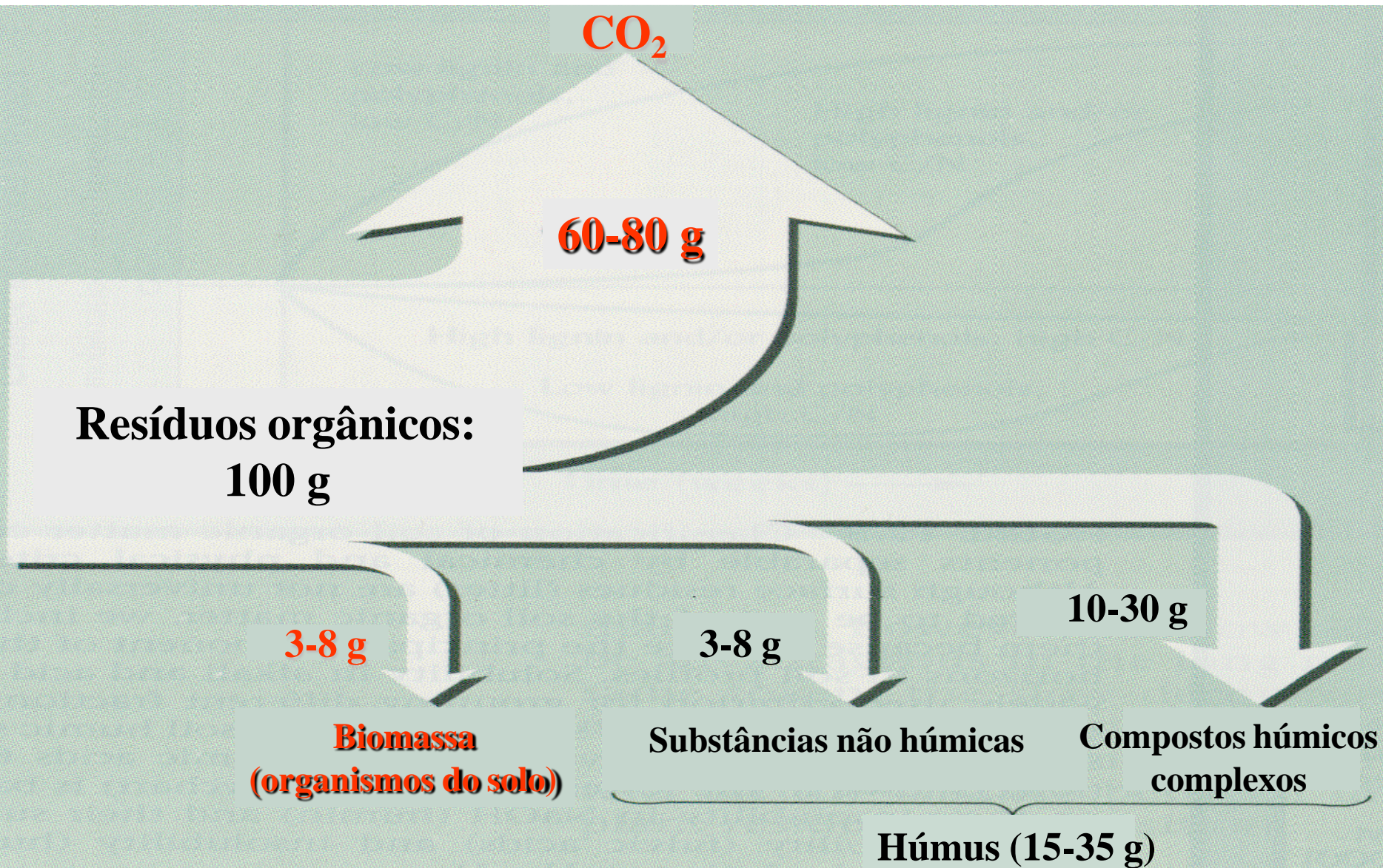
Na atmosfera



Em solução



Qual o destino da matéria orgânica que chega ao solo ?



Balanço do carbono nos ecossistemas

$$PPL\acute{ı}quida = PPB\text{r}uta - R\text{e}spira\acute{c}\tilde{a}o$$

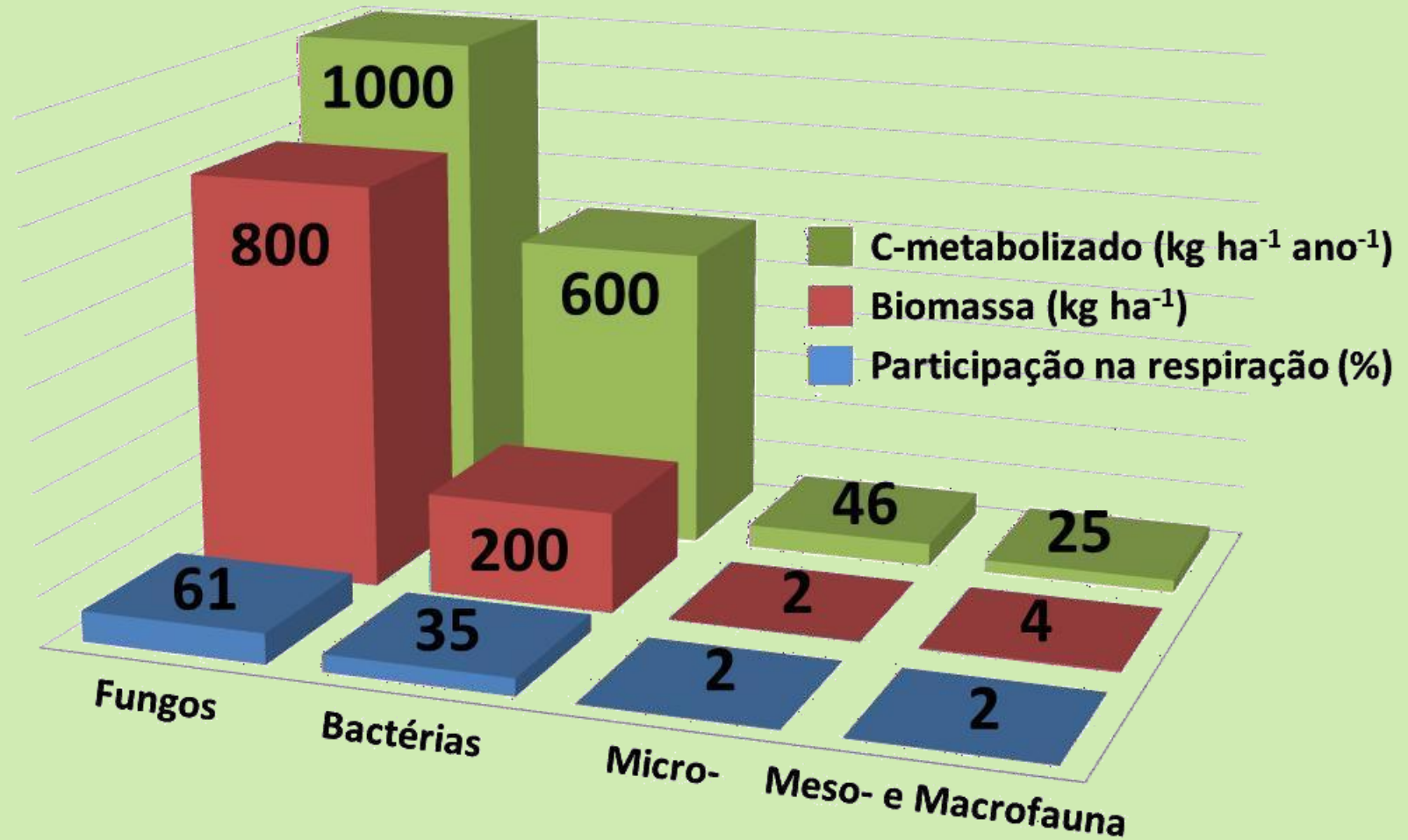
$$R_{\text{ecossistema}} = R_{\text{plantas}} + R_{\text{heterotr\acute{o}fica}}$$

(50%) (50%)

$$R_{\text{heterotr\acute{o}fica}} = R_{\text{microbiana}} + R_{\text{animal}}$$

(90%) (10%)

Participação dos componentes da biota na ciclagem do **C** do solo

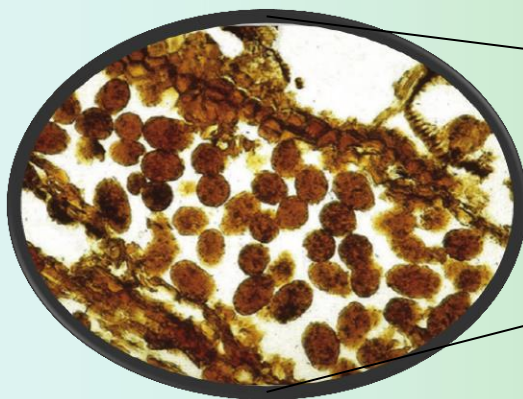


O que é biodiversidade ???

“...diversidade (número ou abundância) de organismos vivos em determinada área ou região...”

biota do solo ↔ biodiversidade do solo

A biodiversidade compreende todas as variações biológicas, desde o gene (espécie), até a comunidade, o ecossistema e o bioma.



Os solos são o habitat de grande parte da biodiversidade



→ + de $\frac{1}{4}$ da biodiversidade global



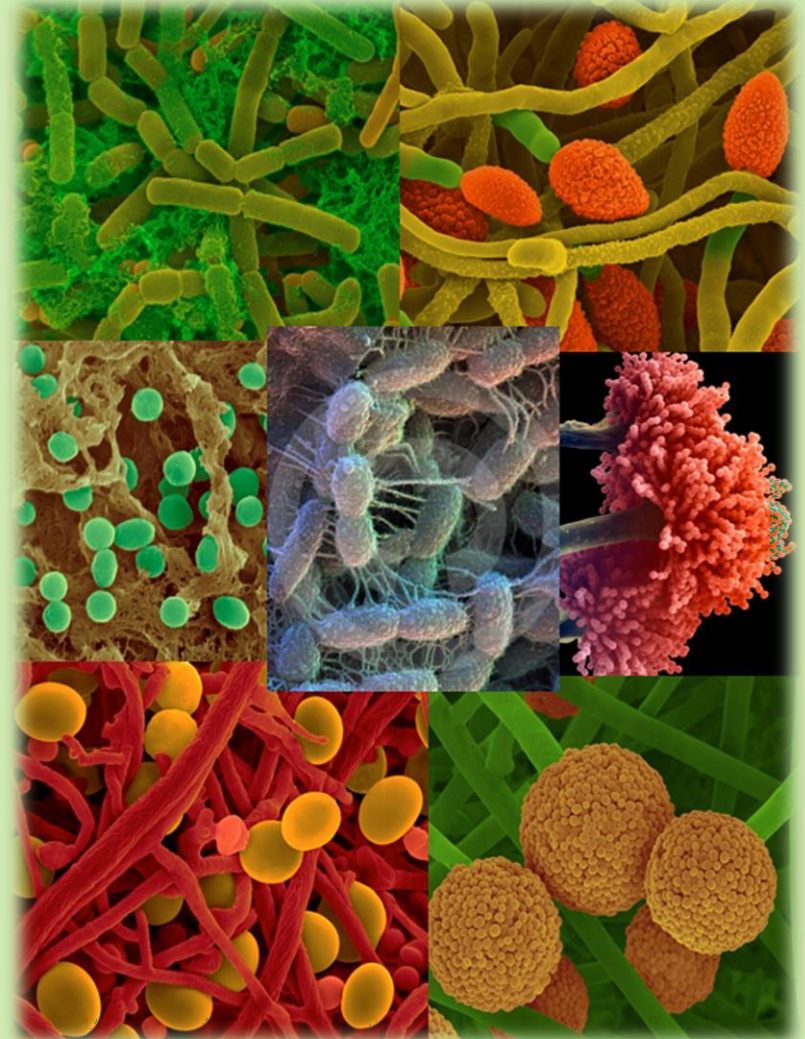
Grupo	Organismo	Conhecidos	% conhecidos
Plantas	Plantas vasculares	270.000	84
Macro-fauna	Minhocas	3.500	50
Meso-fauna	Ácaros	45.231	4
	Colêmbolas	7.617	15
Micro-fauna	Protozoários	1.500	7
	Nematóides	25.000	1.3
Microorganismos	Bactérias	10.000	1
	Fungos	72.000	1
Espécies marinhas	Todas	230.000	30

DESCONHECIDOS

A biota do solo pode ser dividida em **três grandes grupos funcionais**

Engenheiros químicos:

principalmente micro-organismos, responsáveis pela decomposição de matéria orgânica vegetal em nutrientes prontamente disponíveis para plantas e animais



Reguladores biológicos:

ampla variedade de pequenos invertebrados como nematóides, ácaros, colêmbolas e equitreídeos que predam plantas, outros invertebrados e microorganismos, regulando sua dinâmica no espaço e tempo.

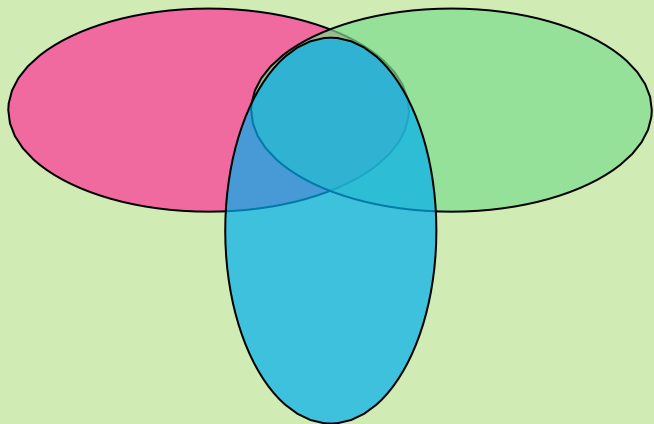


Engenheiros do ecossistema:

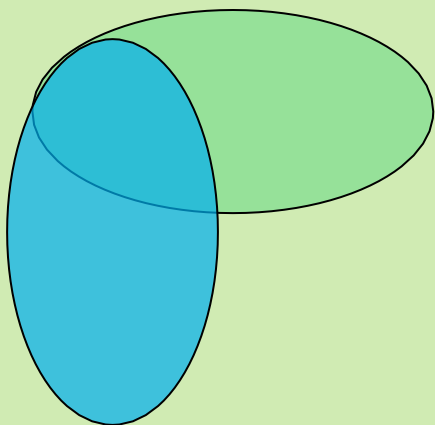
minhocas, formigas, cupins modificam ou criam habitats para organismos menores, construindo agregados resistentes, poros e galerias.



Representação esquemática de redundância funcional



Cada elipse representa uma série de funções que podem ser exercidas por uma parte de dada comunidade do solo (espécie ou grupo de organismos). Pode haver sobreposição de funções.



Se uma parte da comunidade é removida, desaparecem funções exercidas por ela. Entretanto, devido à sobreposição de funções exercidas por comunidade diferentes, nem todas as funções são perdidas. Isto se denomina **“redundância funcional”**.

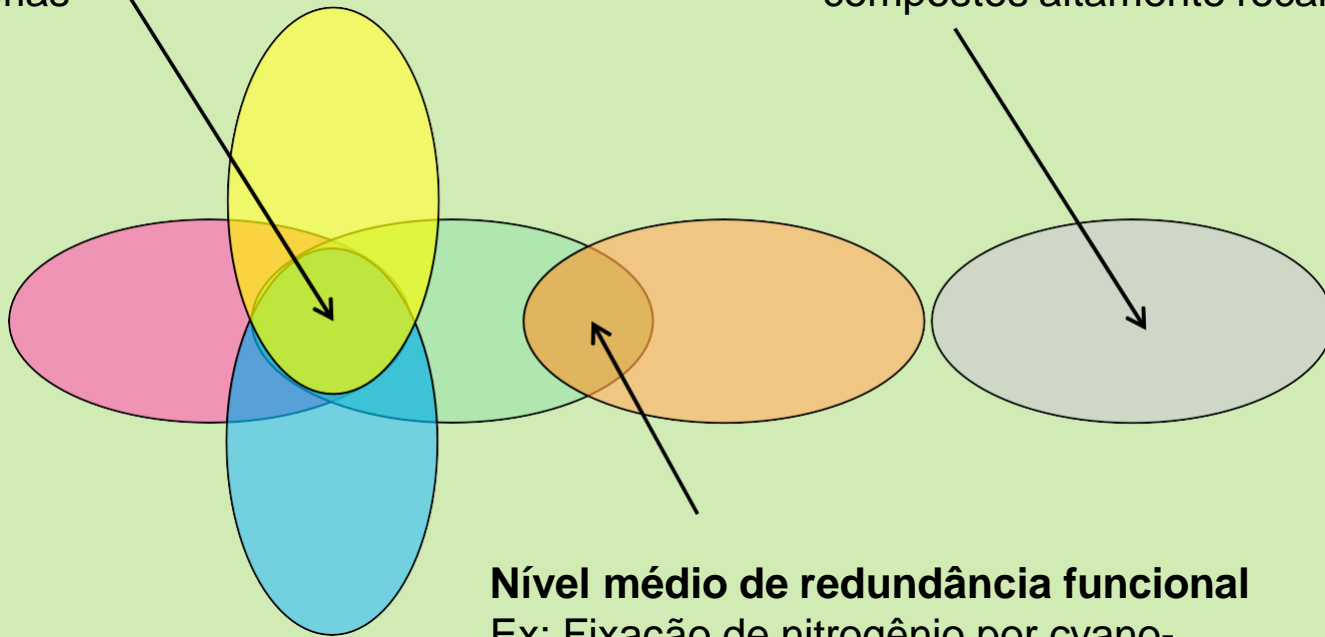
Representação esquemática de diferentes níveis de redundância funcional para diferentes exemplos de funções do ecossistema

Alto nível de redundância funcional

Ex: Decomposição de algumas formas de matéria orgânica do solo por muitas espécies de invertebrados, fungos e bactérias

Sem redundância funcional

A perda dessa parte da comunidade significa a perda completa dessa função. Ex: Quebra de alguns compostos altamente recalcitrantes



Nível médio de redundância funcional

Ex: Fixação de nitrogênio por cianobactérias, actinomicetos e Rhizobium

Serviços dos ecossistemas prestados pela biodiversidade do solo

Suporte

- Decomposição
- Ciclagem nutrientes
- Formação do solo
- Produção primária
- Ciclagem da água

Provisionamento

- Alimento
- Água potável
- Combustível
- Madeira, fibras
- Recursos genéticos
- Remédios, farmacêuticos

Regulagem

- Regulagem do clima
- Regulagem da água
- Regulagem de doenças
- Regulagem de pragas
- Purificação da água
- Regulagem da erosão
- Regulagem qualidade do ar

Cultural

- Estético
- Espiritual
- Educacional
- Recreativo



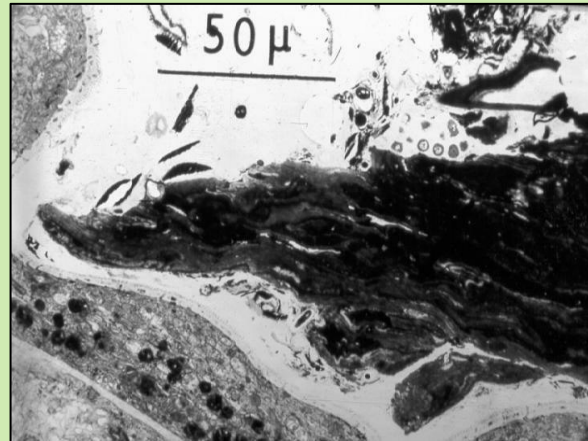
Serviços prestados pela biodiversidade do solo

Estrutura, matéria orgânica e fertilidade do solo

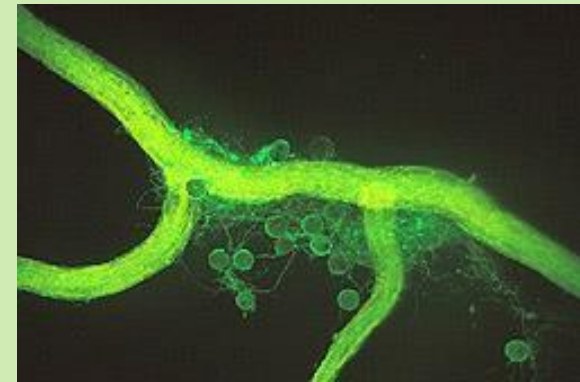
Os três grupos funcionais estão envolvidos na formação e decomposição da matéria orgânica, contribuindo com a estruturação do solo.



Folhas fragmentadas por cupins



Fragmentos vegetais no tubo digestivo de enquitreideos



A glomalina contribui para estabilidade dos agregados ao serem excretadas pelas hifas fúngicas. Ligam-se às argilas por pontes catiônicas de ferro

Humus, principal responsável pela qualidade e fertilidade dos solos, somente pode ser produzido pela diversidade dos organismos do solo.

Não pode ser produzido pelo homem

Regulagem do fluxo de carbono e controle do clima



	(10 ⁹ t = 1 Pg)	Pg C
Atmosfera		752
Vegetação		470-655
Solo (0-30 cm)		~800
Solo (100 cm)		1500-2000

Reservatório de C formado diretamente pela biota e matéria orgânica do solo.

Todos os anos os organismos do solo processam 25 Mg de matéria orgânica por área equivalente a um campo de futebol.

A perda de diversidade reduz a capacidade do solo de regular a composição da atmosfera, assim como seu papel de mitigar o aquecimento global.

Regulagem do fluxo de água

Engenheiros dos ecossistemas afetam a infiltração e distribuição de água no solo através da criação de agregados e espaços porosos.



Afeta indiretamente a infiltração através de ação sobre a composição e estrutura da vegetação, camada de liteira e padrão de enraizamento.

Observou-se que a eliminação da população de minhocas por contaminação química reduziu a infiltração de água em até 93%.

Perda/redução desse serviço reduz a qualidade e quantidade de água do solo, enquanto que nutrientes e contaminantes não são mais degradados ou neutralizados.



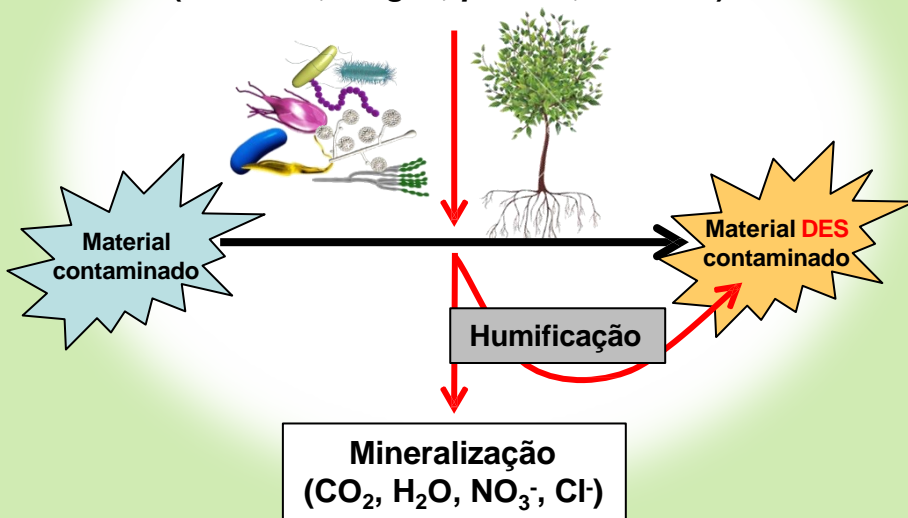
Descontaminação e bioremediação

Engenheiros químicos têm papel chave na bioremediação, acumulando poluentes em seu corpo, degradando-os em moléculas menores não tóxicas, ou mesmo modificando-os em moléculas úteis.

Princípio da eliminação biológica de poluentes orgânicos

ORGANISMOS & BIOCATALIZADORES

(*bactérias, fungos, plantas, enzimas*)



Bioremediação microbiológica é uma opção de baixo custo, capaz de destruir ampla variedade de poluentes sem deixar resíduos tóxicos.

A população microbiana se autorregula. Diminuindo a concentração do contaminante, o mesmo ocorre com a comunidade microbiana.

A perda da biodiversidade do solo reduz a disponibilidade de microorganismos capazes de bioremediação.

Exemplo de bioremediação de uma mancha de óleo por cepas de fungos do solo *Trametes versicolor* e *Pleurotus ostreatus*



(a) Devido a natureza porosa do solo não seria possível remover a mancha de óleo sem afetar uma grande porção do solo, o qual então deveria ser tratado como material contaminado. Devido a natureza tóxica do óleo bruto é pouco provável que plantas pudessem crescer em solo nessas condições.

(b) Quatorze dias após a inoculação de uma combinação de cepas de *Trametes versicolor* e *Pleurotus ostreatus*. As hifas dos fungos crescem tão abundantes sobre a mancha de óleo que são claramente visíveis.

(c) Após 49 dias a mancha de óleo praticamente se foi, assim como os fungos, cujas hifas não são mais visíveis.

Controle de pragas



Solos com maior biodiversidade, naturalmente têm maior probabilidade de abrigar um inimigo natural da praga em questão.

Controle biológico eficiente de pragas evita o uso de métodos químicos, como pesticidas, que têm alto custo econômico e ecológico.

Exemplo:

Substituição do brometo de metila (BM), substância nociva à camada de ozônio, por métodos alternativos de controle de patógenos, ervas daninhas e outros problemas de replantio.

Alternativas não químicas:
biofumigação, biosolarização,
cultivo mínimo, rotação de
culturas, variedades resistentes,
enxertia

Biocontrole de pragas

Consiste no uso de inimigos naturais como agentes de controle biológico como predadores, parasitas ou patógenos. Sua ação geralmente pode ser classificada em três categorias:

Conservação: quando se cuida para que agentes de controle biológico natural não sejam erradicados por outros processos de controle de pragas.

Controle biológico clássico: quando um agente de controle biológico é introduzido em uma área visando o controle de uma espécie de praga.

Aumento: quando envolve a liberação suplementar de um agente de controle de praga. Um exemplo é o uso de nematóides entomopatogênicos, liberados em taxas de milhões ou bilhões por hectare, para o controle de certas pragas de insetos.

Exemplo de controle biológico do patógeno de plantas *Botrytis cinerea*



Controle

CaCl₂

Fungicida

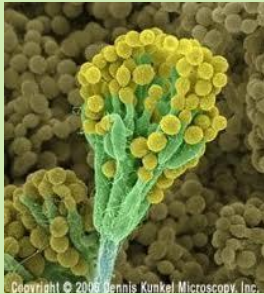
Biocontrole

Trichoderma hamatum

Claramente o biocontrole apresentou os melhores resultados

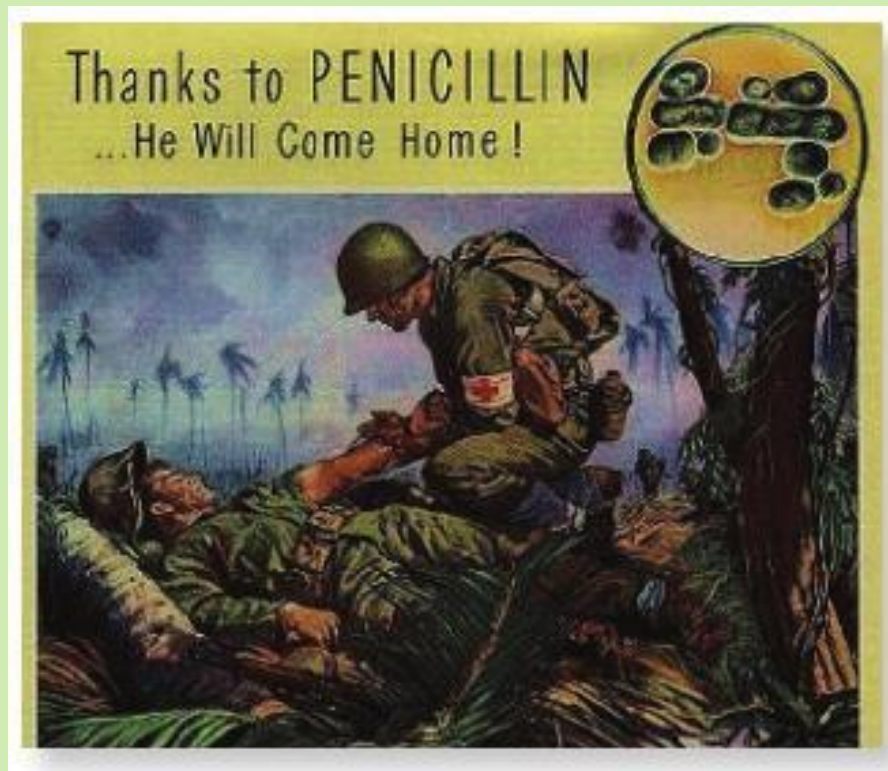
Saúde humana

Organismos do solo são importante fonte de recursos químicos e genéticos para o desenvolvimento de novos fármacos.



Penicillium notatum

Fungo do solo isolado por Alexandre Fleming em 1928



Um presente do solo da Ilha de Páscoa



“Neste local foram obtidas em janeiro de 1965 as amostras de solo que permitiram obter a *rapamicina*, substância que inaugurou uma nova era para os pacientes submetidos a transplantes de órgãos”

Homenagem dos investigadores brasileiros
Novembro de 2000

A rapamicina foi desenvolvida inicialmente como agente antifúngico, porem muitas outras importantes propriedades foram sendo descobertas:

- Imunossupressor para prevenir rejeição de órgãos transplantados;
- Efeito anti-proliferativo. Potencial tratamento para o câncer.
- Habilidade para estender a vida em ao menos 15% em ratos.

Quais são as principais causas de perda da biodiversidade do solo?

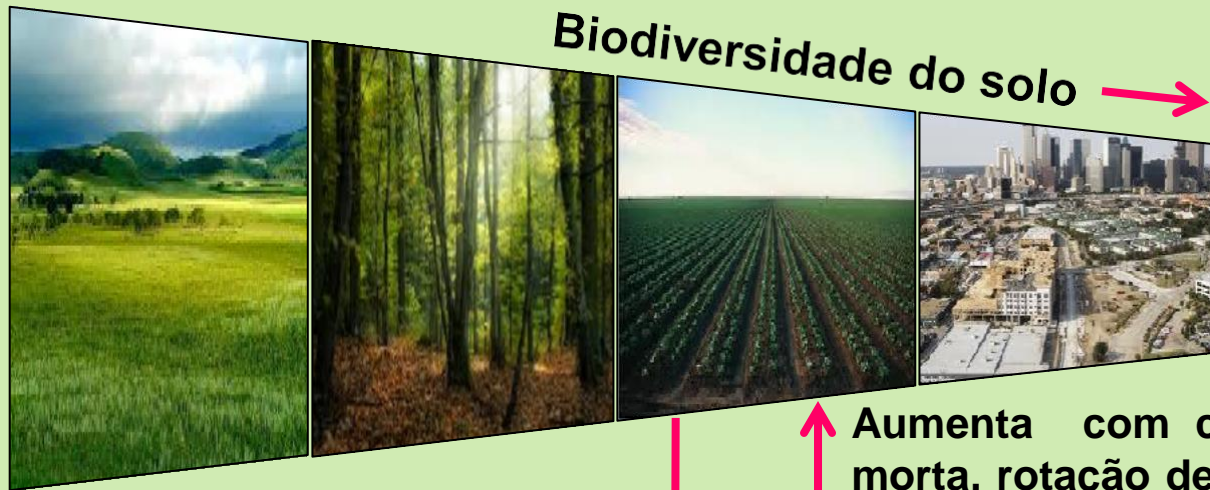
- **Agricultura e exploração antropogênica intensiva**
- **Diminuição da matéria orgânica do solo**
- **Mudança de uso da terra e destruição de habitats**
- **Erosão do solo**
- **Impermeabilização do solo**
- **Poluição do solo**
- **Compactação do solo**
- **Fragmentação de habitats**
- **Mudanças climáticas**
- **Organismos geneticamente modificados**
- **Salinização**
- **Fogo**
- **Desertificação**

Principais ameaças à biodiversidade do solo

Degradação do solo

CAUSAS	EFEITOS
Práticas agrícolas inapropriadas	Perda de matéria orgânica
Excesso de pastejo	Erosão
Desmatamento	
Fogo	
Salinização	Inativa ou mata a biota do solo
Compactação	Reduz a ação dos engenheiros do ecossistema levando a mais compactação
Impermeabilização urbana	Corta a entrada de água e matéria orgânica para os organismos do solo

Manejo do solo



Biodiversidade do solo →

↑ Aumenta com compostagem, cobertura morta, rotação de culturas, que melhoram a estrutura do solo, transferência de água e estocagem de carbono

↓ Diminui com a intensificação do manejo (uso de pesticidas, fertilizantes, maquinário pesado)

O caso da colheita da cana-de-açúcar



Colheita manual, com queima da palhada

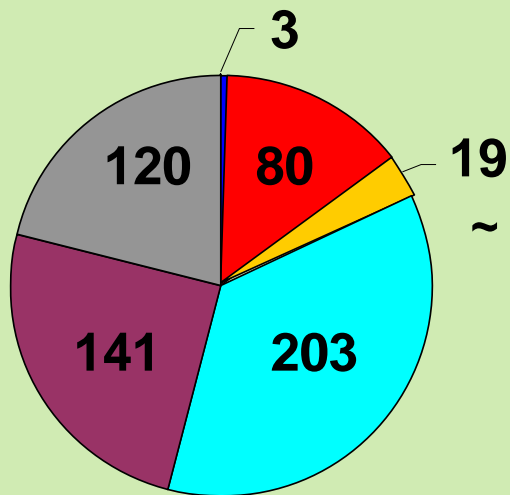


Colheita mecanizada, sem queima da palhada

Exemplo de resultados: abundancia e diversidade

Mata nativa

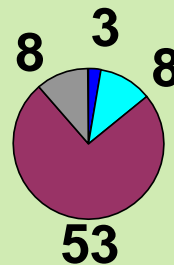
566 ± 149 ind. m^{-2}



~ 50 anos

Cana-de-açúcar
Colheita manual
(queimada)

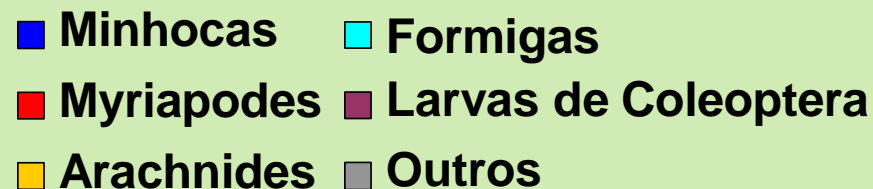
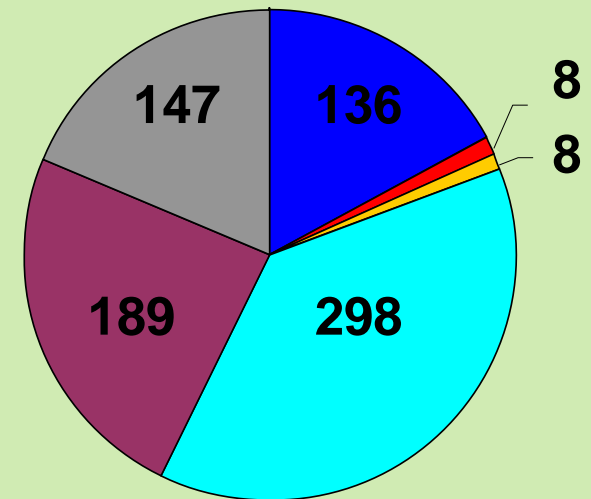
72 ± 3 ind. m^{-2}



4 anos

Cana-de-açúcar
Colheita mecanizada
(sem queima)

786 ± 101 ind. m^{-2}



Efeito de diversas práticas de manejo adotadas em agroecossistemas na população e diversidade de minhocas



Potenciais soluções

❖ Esquemas de monitoramento e indicadores da biodiversidade do solo

O risco de perda de diversidade do solo requer o desenvolvimento de **indicadores confiáveis** para que programas de monitoramento possam ser instituídos.

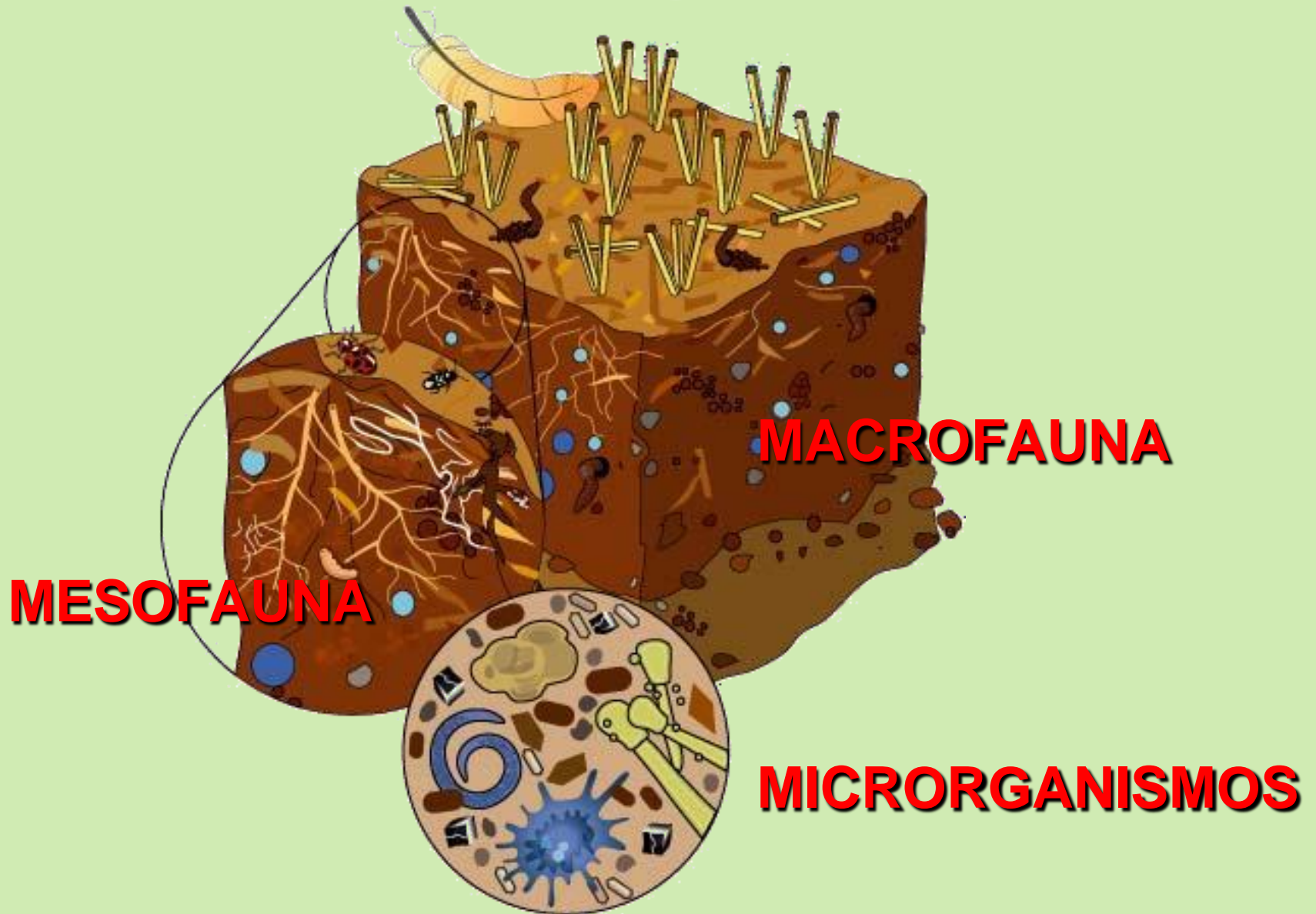
Os indicadores devem ser **significativo, padronizado e fácil de medir**. Até o momento, não existe um indicador que combine todos os aspectos da complexidade do solo em uma única fórmula que permita comparações precisas.

A **falta de conscientização** da sociedade sobre a importância da biodiversidade do solo agrava o problema. Os **custos** de um programa de monitoramento também são um entrave para a ampliação dos programas de monitoramento.

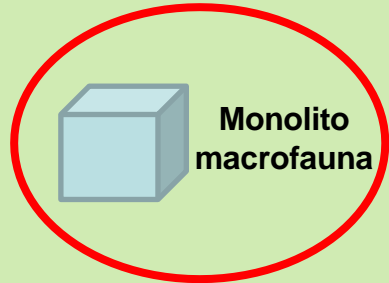
❖ Políticas relacionadas à biodiversidade do solo

Não existe no momento legislação específica sobre a biodiversidade do solo em nenhuma instância.

Quantificação dos organismos do solo



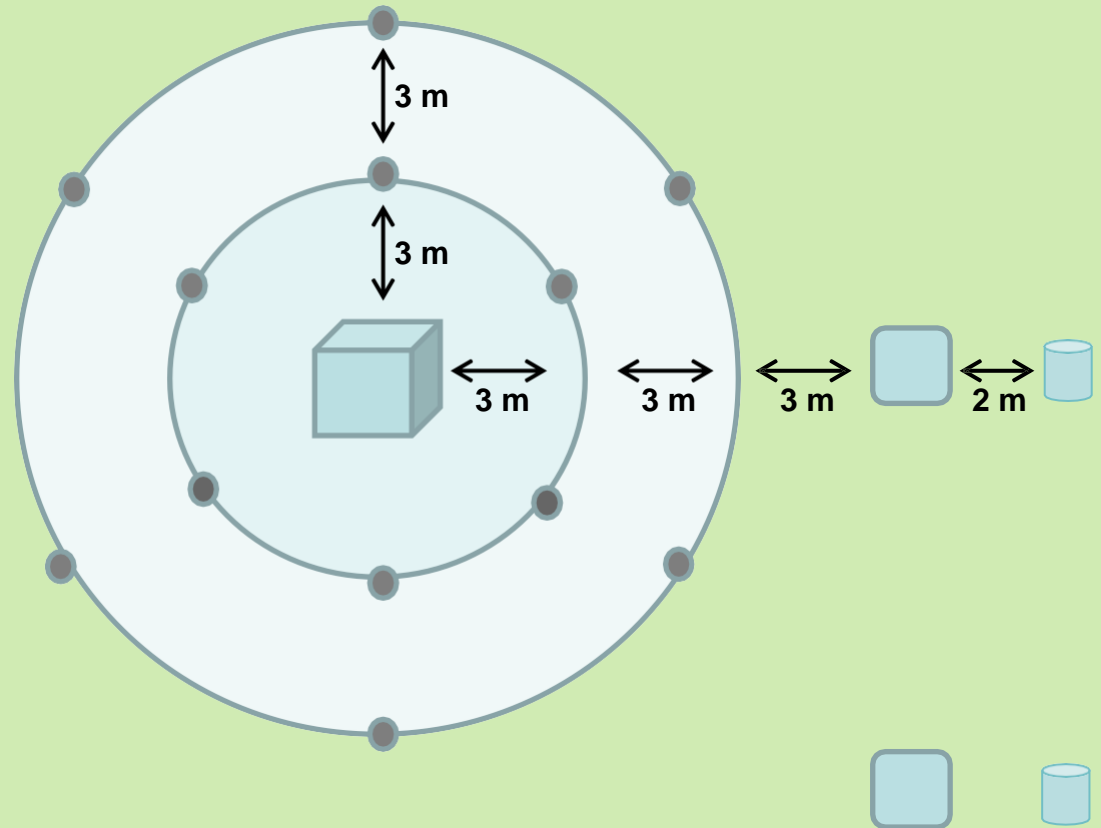
Esquema de amostragem dos organismos do solo



● 12 tradagens para cada profundidade (0-10, 10-20, 20-30 cm)

□ 1m³ liteira (Winkler)

○ Pitfall armadilha





Monolito
macrofauna

Extração





Monolito
macrofauna

Extração





Monolito
macrofauna

Separando a macrofauna

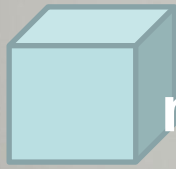




Monolito
macrofauna

Separando a macrofauna





Monolito
macrofauna

Identificando a macrofauna





**Monolito
macrofauna**

Identificando a macrofauna



Monolito
macrofauna

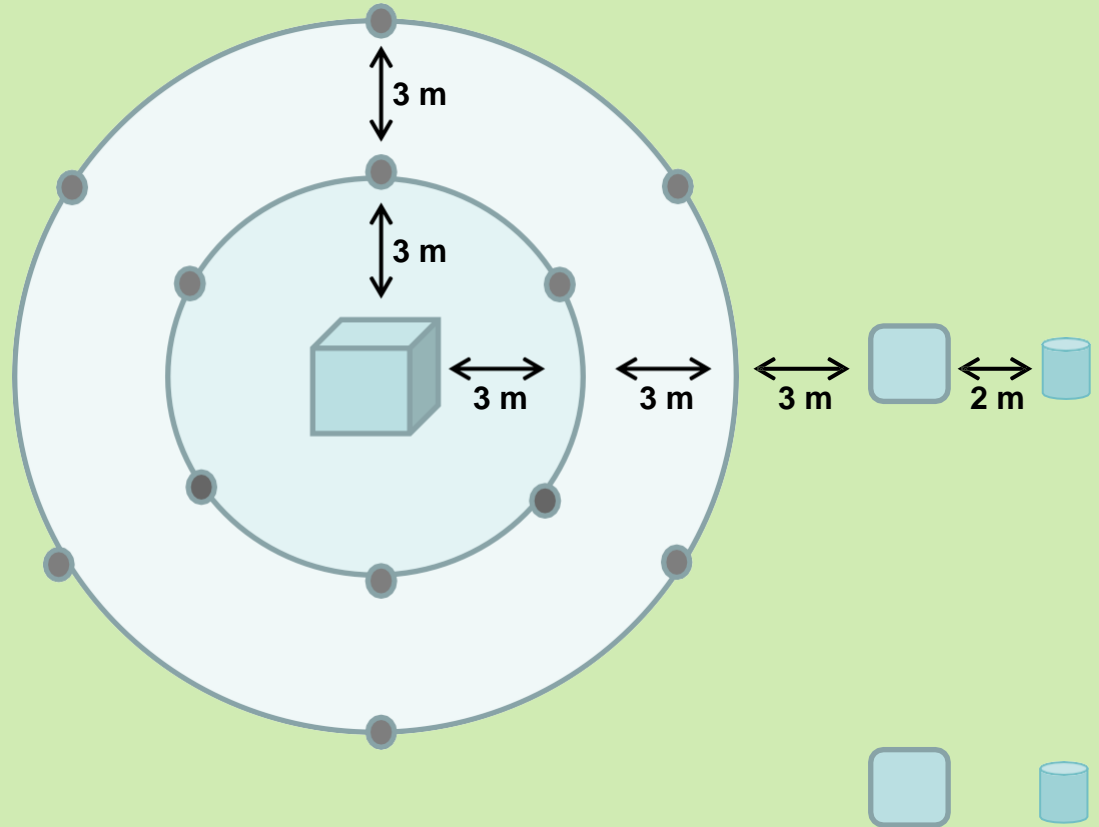
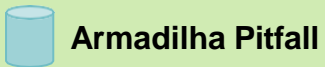
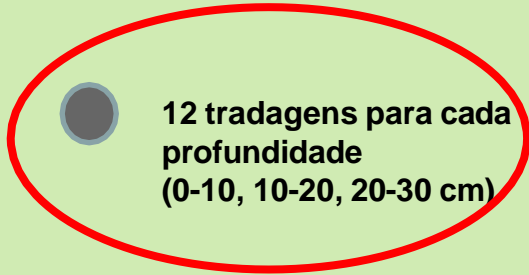
Identificando a macrofauna



Separando a fauna da liteira em coletores de Winkler



Plano de amostragem da biota do solo



Extração das amostras



Tradagens



Homogenização das amostras

● Tradagens



Homogenização das amostras

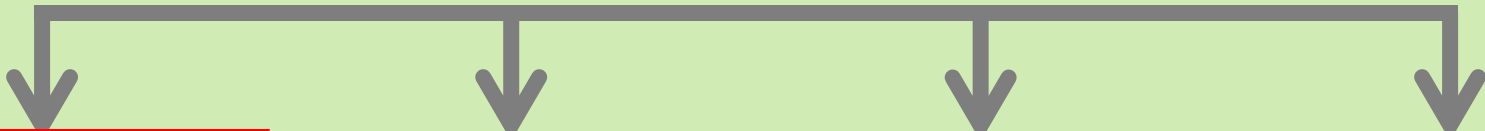
Tradagens





12 tradagens para cada
profundidade
(0-10, 10-20, 20-30 cm)

**Amostras de
solo
homogêneas**



**Mesofauna
Ácaros**

**Microfauna
Nematóides**

**Biomassa
microbiana**

**Diversidade
microbiana**

Mesofauna Ácaros



Extrator modificado
de Berlese-Tullgren

**Mesofauna
Ácaros**

Lâmpadas

Amostras

Etanol 70%



Identificando Ácaros



12 tradagens para cada
profundidade
(0-10, 10-20, 20-30 cm)

**Amostras de
solo
homogêneas**

**Mesofauna
Ácaros**

**Microfauna
Nematóides**

**Biomassa
microbiana**

**Diversidade
microbiana**

Microfauna
Nematóides

Extração



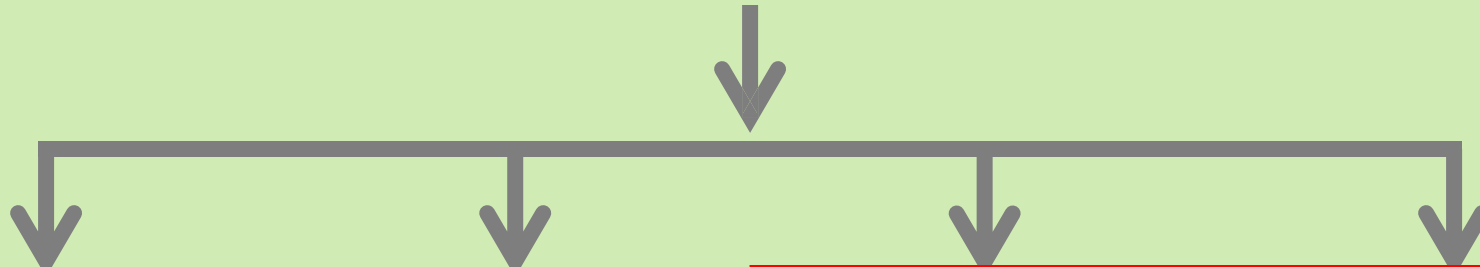
Identificação de Nematóides





12 tradagens para cada
profundidade
(0-10, 10-20, 20-30 cm)

**Amostras de
solo
homogêneas**



**Mesofauna
Ácaros**

**Microfauna
Nematóides**

**Biomassa
microbiana**

**Diversidade
microbiana**

**Biomassa
microbiana**

**Diversidade
microbiana**

Possíveis métodos de análise dos microorganismos do solo

Observação direta e contagem

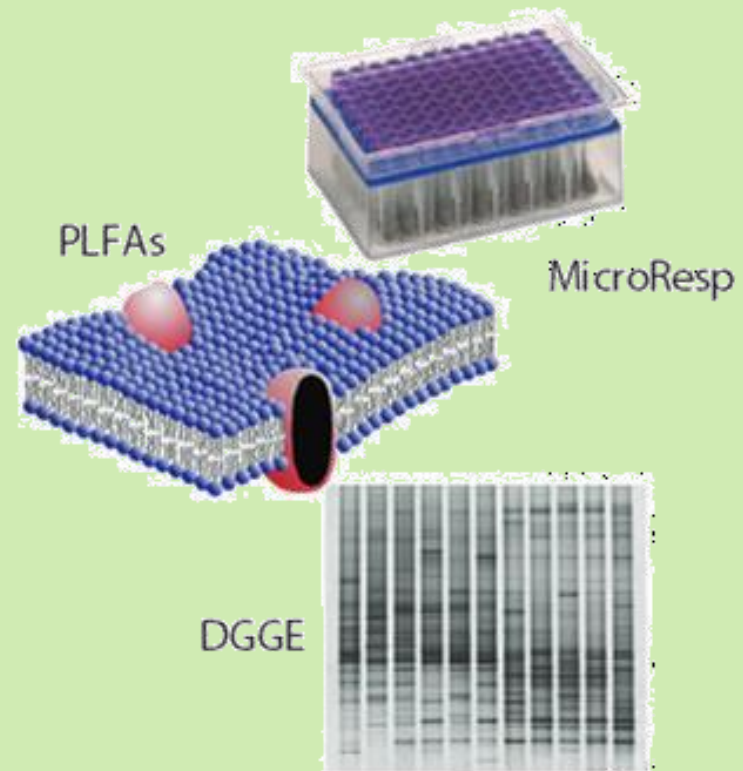
- microscopia

Testes funcionais

- análises enzimáticas
- perfil de utilização de fontes de C
- análise de proteínas
- ensaios com genes funcionais

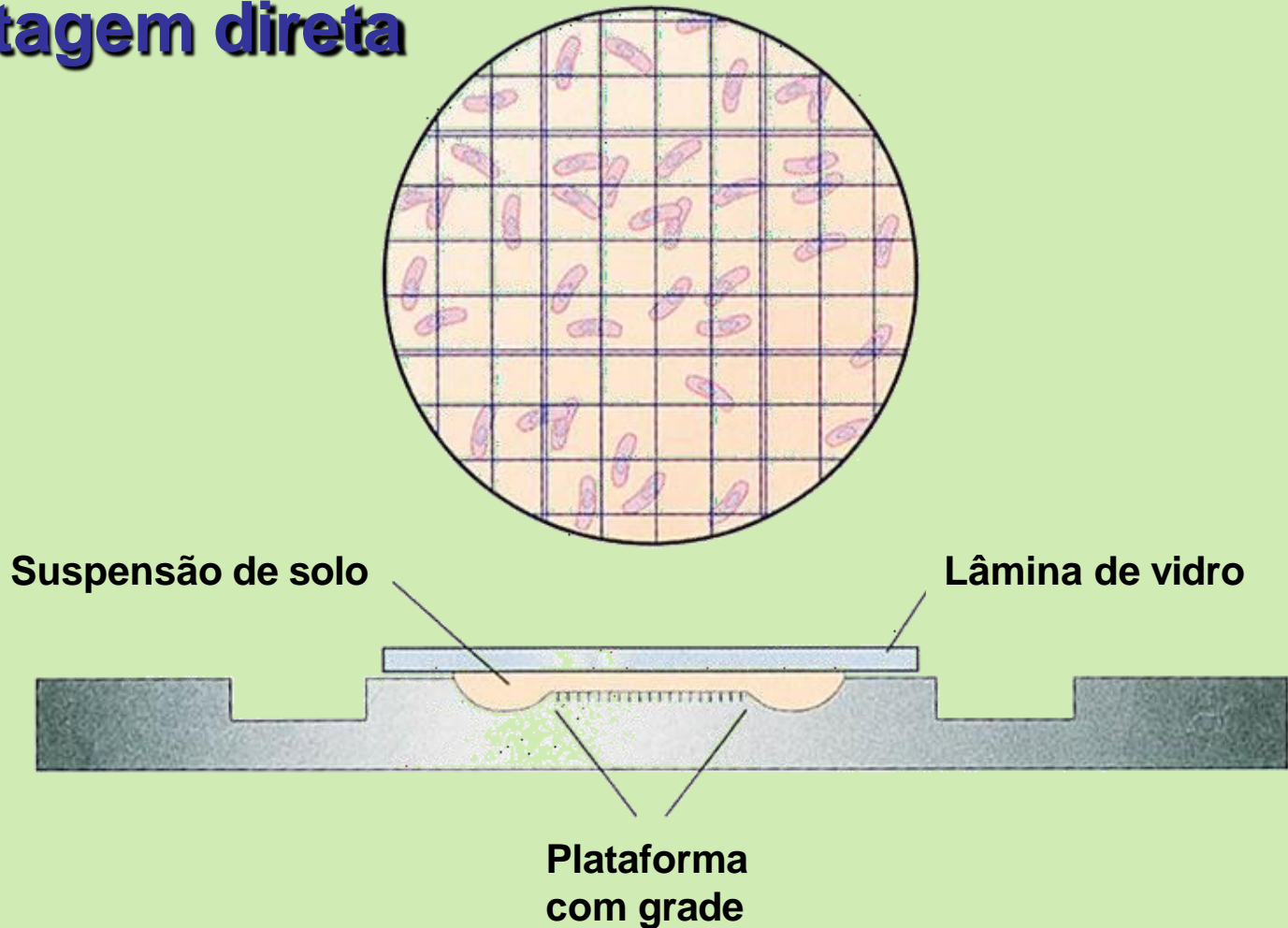
Testes taxonômicos

- análises dos fosfolipídeos (PLFA)
- clonagem
- técnicas moleculares



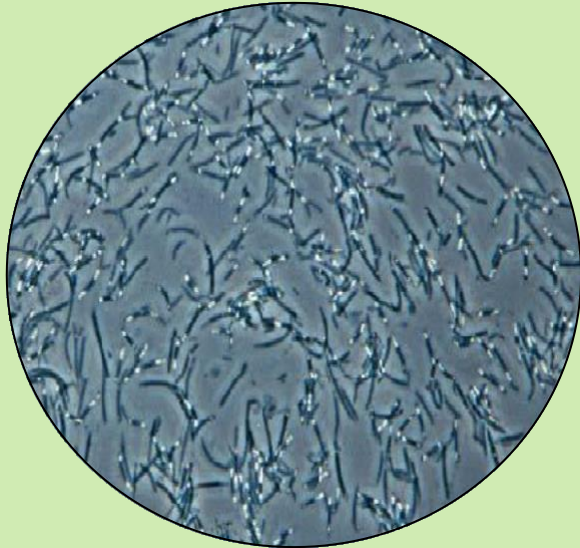
Métodos microscópicos

Contagem direta

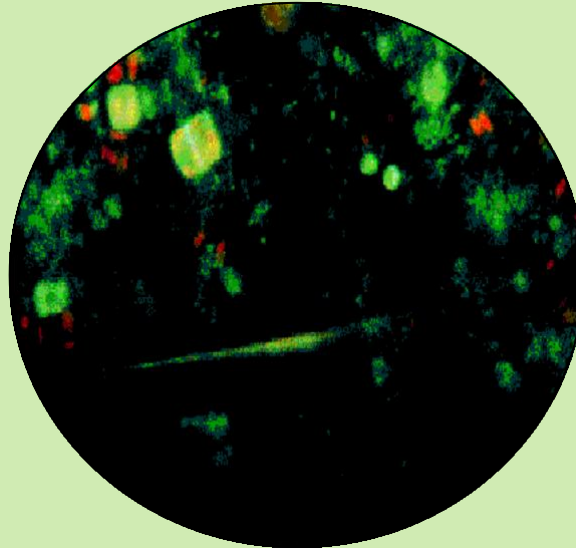


Tipos de microscopia

Óptica



Fluorescência



Eletrônica

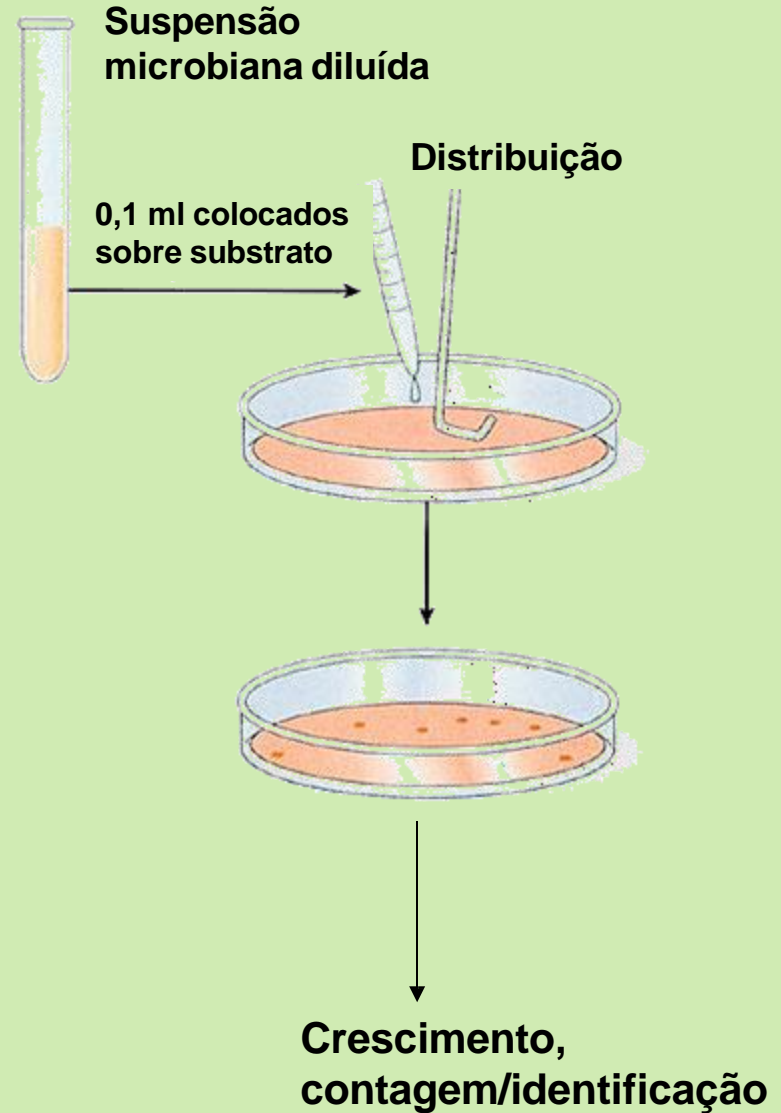
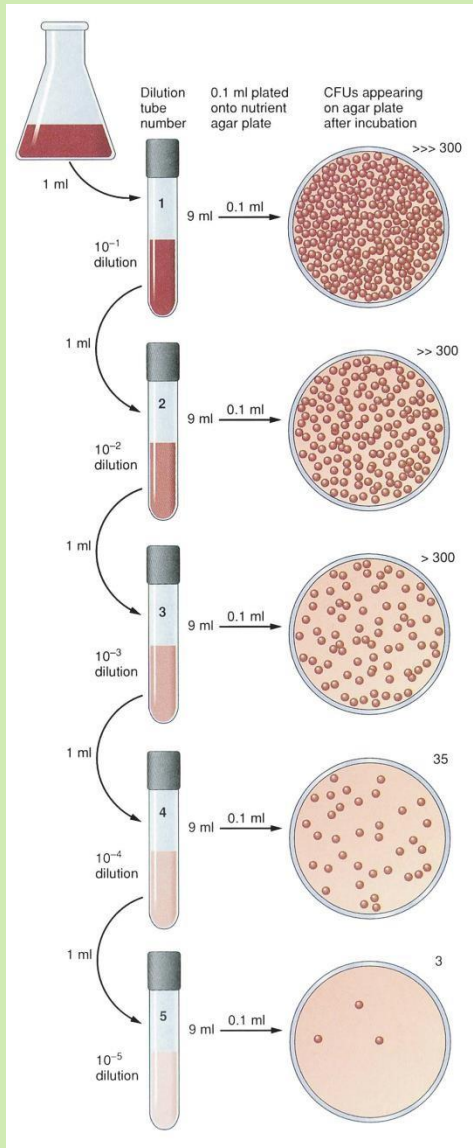


Observações:

- Aplicável a pequenas amostras
- Imagens dos microrganismos “in situ”
- Estudos da distribuição dos microrganismos no solo

Número mais provável (NMP)

Série de diluições



Observações:

- **Microrganismos cultiváveis representam somente 1-10% das bactérias e 5-15% dos fungos do solo;**
- **Não existe meio de cultura universal ou “não seletivo”**
 - **Fungos crescem melhor em meios com C:N alta e pH neutro;**
 - **Bactérias crescem melhor em meios com C:N média e pH baixo;**
 - **Esporos de fungos comuns, como *Aspergillus*, *Mucor* e *Penicillium* crescem rapidamente e inibem o crescimento de fungos de crescimento mais lento;**
 - **Muitas bactérias e fungos produzem antibióticos que inibem o crescimento de outros organismos;**

Análises químicas. Métodos biocidas

**Morte da biomassa
microbiana presente**



**Quantificação de elementos
imobilizados nas células**

Fumigação

Autoclavagem

Irradiação (1,0-2,5 Mrad)

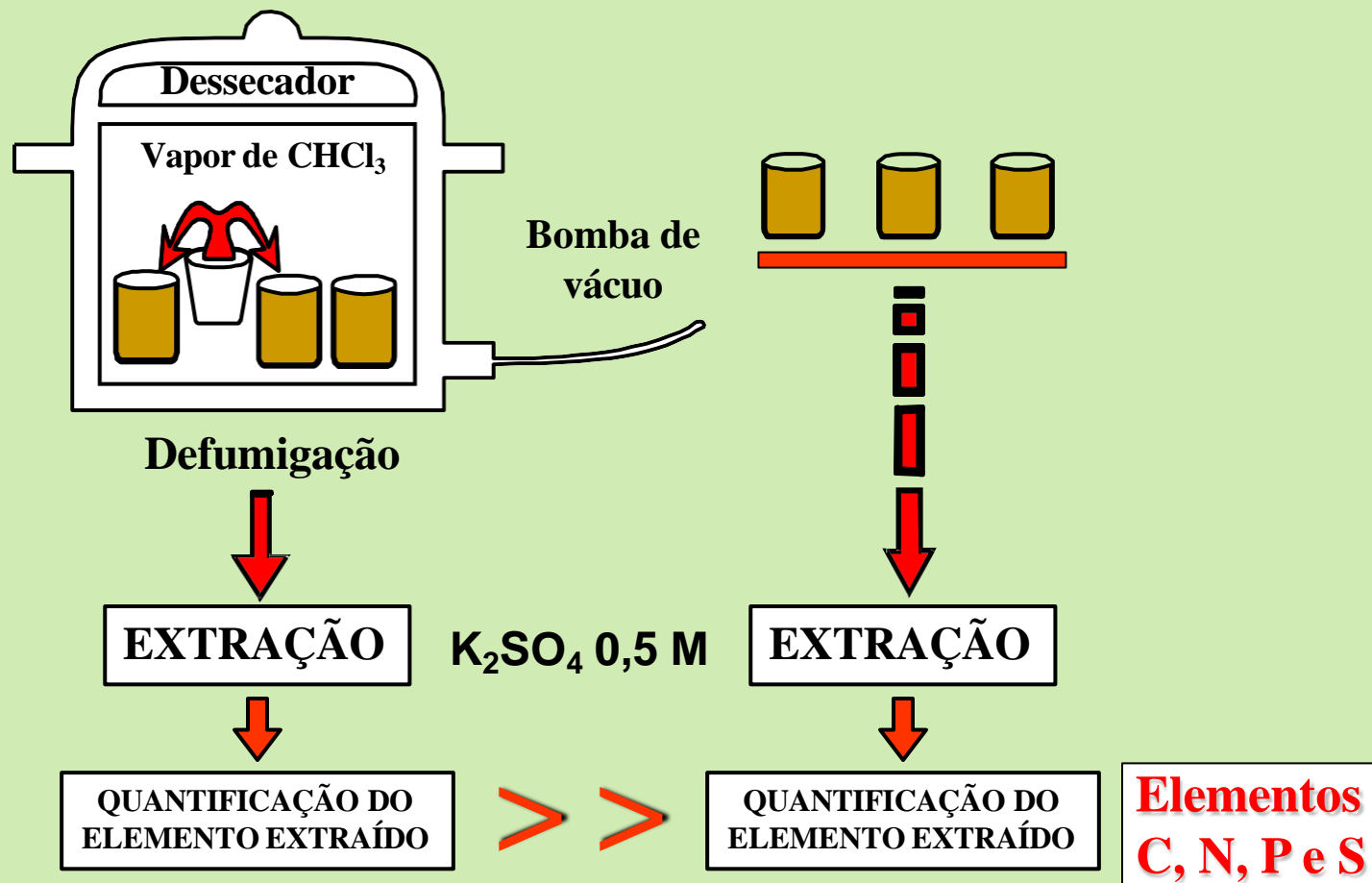
Microondas (800 J g⁻¹ solo)

Métodos químicos diversos

Uso de equipamentos

Quantificação da biomassa microbiana

Método da fumigação-extração (Vance et al., 1987)



$$BM = \frac{(\text{Fumigada}) - (\text{Controle})}{k \text{ eficiência da extração}}$$

Quantificação dos elementos extraídos

Carbono

- Digestão por dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 66,7 mM)
- Autoanalisador de carbono
- Analisador TOC (Wu et al. 1990. Soil Biol.Biochem. 22:1167-1169)
- Compostos na faixa de absorvância ultravioleta (280 nm)
(Nunan et al. 1998. Soil Biol.Biochem. 30:1599-1603)

Nitrogênio

- Autoanalisador de nitrogênio
- Digestão micro-Kjeldhal

Aplicação da estimativa da biomassa microbiana

◆ Indicador da qualidade do solo

Solo de qualidade é biologicamente ativo e contém variedade estável de microrganismos

Apresenta rápida resposta à interferências externas

Reflete o funcionamento do ecossistema

Metodologia fácil e barata

Distribuição universal

Índices eco-fisiológicos

Relação $C_{\text{microbiano}} : C_{\text{orgânico}}$

Disponibilidade de C para o crescimento da população

Quociente metabólico $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g } C_{\text{micr}}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

Demanda de energia necessária para a manutenção da população

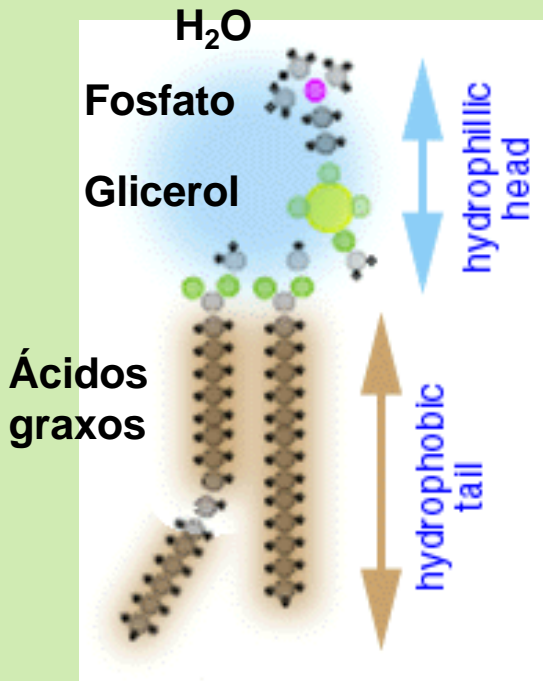
$C_{\text{micr}} : C_{\text{org}}$ 2.0 - 4.4%

$q\text{CO}_2$ 0.5 - 2.0 $\text{ng C-CO}_2 \text{ g } C_{\text{micr}}^{-1} \text{ h}^{-1}$

↑
valores críticos

Análises químicas. Moléculas características

Phospholipid fatty acids (PLFA)



Porque fosfolipídeos ?

São componentes essenciais de todas células vivas

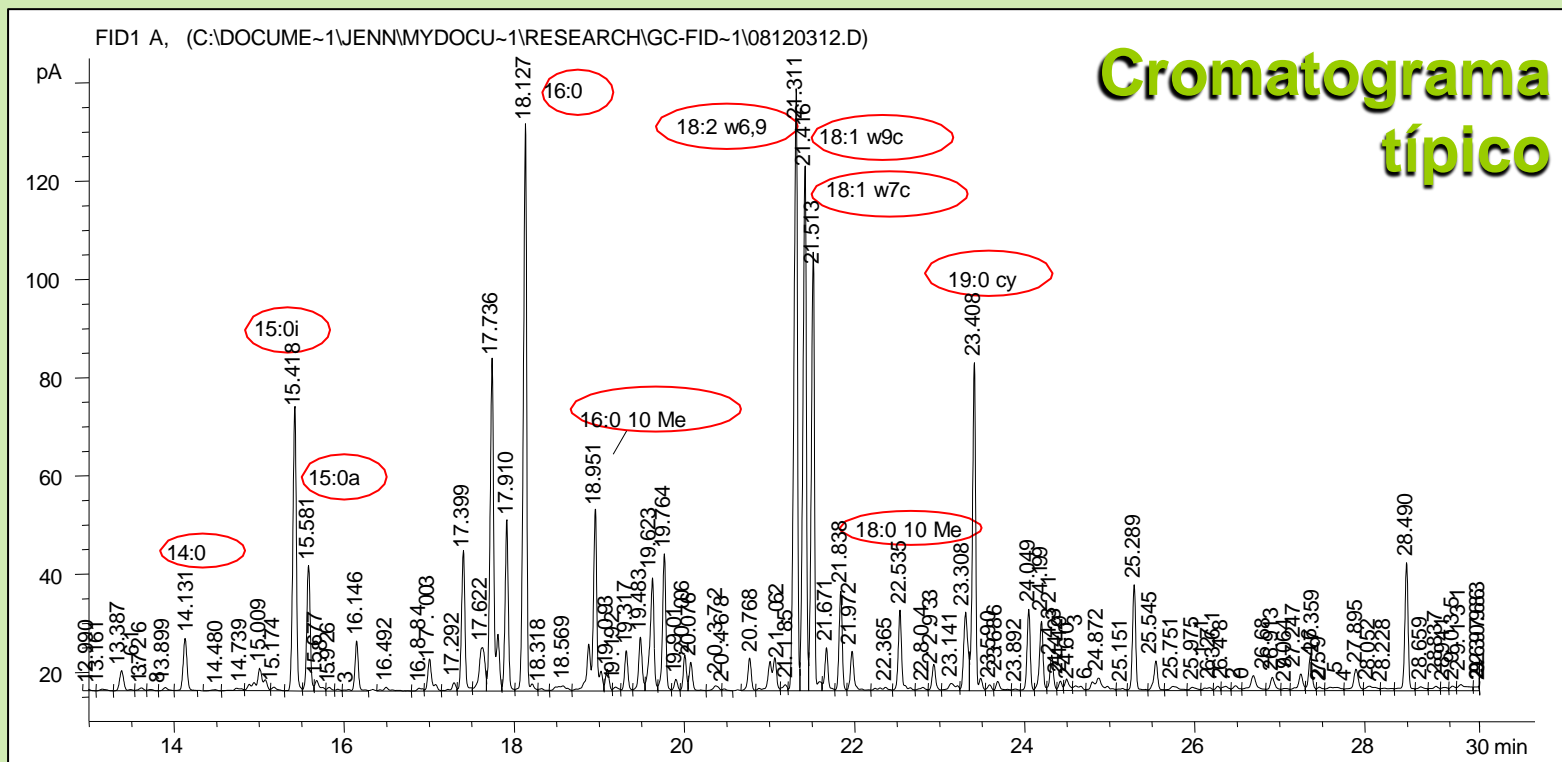
- grande diversidade estrutural, especificidade biológica

Indicam a biomassa microbiana viva e, possivelmente, ativa

- o grupo fosfato é consumido rapidamente quando o organismo morre
- não são encontrados em produtos de armazenamento
- presentes em proporções relativamente constantes na biomassa

Alterações no padrão do PLFA → Alterações na comunidade microbiana

Alterações em PLFAs específicos → Alterações em grupos específicos



Ácido graso	Grupo microbiano
15:0i, 17:0i, 15:0a, etc..	Gram positive bacteria
cy17:0, cy19:0, 18:1Δ11c	Gram negative bacteria (also cy19:0 gm+)
10 Me18:0, 10 Me17:0, 10 Me16:0	Actinomycetes
18:2ω6,9, 18:1ω9c	Fungi
20:4 ω6	Protozoan
16:1 ω5	Arbuscular mycorrhizal fungi
18:1ω8c	Methanotrophs

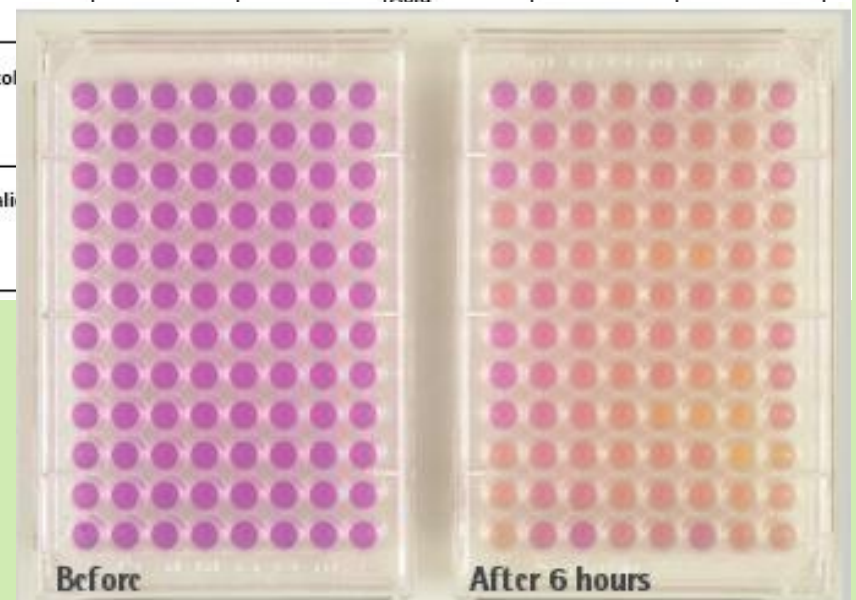
Consumo de substrato

Placas Biolog™



A formação da cor púrpura ocorre quando os microrganismos utilizam a fonte de C e começam a respirar. A respiração das células reduz o corante *tetrazolium*, incorporado no substrato.

A1 Water	A2 β -Methyl-D-Glucoside	A3 D-Galactonic Acid γ -Lactone	A4 L-Arginine	A1 Water	A2 β -Methyl-D-Glucoside	A3 D-Galactonic Acid γ -Lactone	A4 L-Arginine	A1 Water	A2 β -Methyl-D-Glucoside	A3 D-Galactonic Acid γ -Lactone	A4 L-Arginine
B1 Pyruvic Acid Methyl Ester	B2 D-Xylose	B3 D-Galacturonic Acid	B4 L-Asparagine	B1 Pyruvic Acid Methyl Ester	B2 D-Xylose	B3 D-Galacturonic Acid	B4 L-Asparagine	B1 Pyruvic Acid Methyl Ester	B2 D-Xylose	B3 D-Galacturonic Acid	B4 L-Asparagine
C1 Tween 40	C2 i-Erythritol	C3 2-Hydroxy Benzoic Acid	C4 L-Phenylalanine	C1 Tween 40	C2 i-Erythritol	C3 2-Hydroxy Benzoic Acid	C4 L-Phenylalanine	C1 Tween 40	C2 i-Erythritol	C3 2-Hydroxy Benzoic Acid	C4 L-Phenylalanine
D1 Tween 80	D2 D-Mannitol	D3 4-Hydroxy Benzoic Acid	D4 L-Serine	D1 Tween 80	D2 D-Mannitol	D3 4-Hydroxy Benzoic Acid	D4 L-Serine	D1 Tween 80	D2 D-Mannitol	D3 4-Hydroxy Benzoic Acid	D4 L-Serine
E1 α -Cyclodextrin	E2 N-Acetyl-D-Glucosamine	E3 γ -Hydroxybutyric Acid	E4 L-Threonine	E1 α -Cyclodextrin	E2 N-Acetyl-D-Glucosamine	E3 γ -Hydroxybutyric Acid	E4 L-Threonine	E1 α -Cyclodextrin	E2 N-Acetyl-D-Glucosamine	E3 γ -Hydroxybutyric Acid	E4 L-Threonine
F1 Glycogen	F2 D-Glucosaminic Acid	F3 Itaconic Acid	F4 Glycyl-L-Glutamic Acid	F1 Glycogen	F2 D-Glucosaminic Acid	F3 Itaconic Acid	F4 Glycyl-L-Glutamic Acid	F1 Glycogen	F2 D-Glucosaminic Acid	F3 Itaconic Acid	F4 Glycyl-L-Glutamic Acid
G1 D-Cellobiose	G2 Glucose-1-Phosphate	G3 α -Ketobutyric Acid	G4 Phenylethylamine	G1 D-Cellobiose	G2 Glucose-1-Phosphate	G3 α -Ketobutyric Acid		G1 D-Cellobiose	G2 Glucose-1-Phosphate	G3 α -Ketobutyric Acid	
H1 α -D-Lactose	H2 D,L- α -Glycerol Phosphate	H3 D-Malic Acid	H4 Putrescine	H1 α -D-Lactose	H2 D,L- α -Glycerol Phosphate	H3 D-Malic Acid		H1 α -D-Lactose	H2 D,L- α -Glycerol Phosphate	H3 D-Malic Acid	



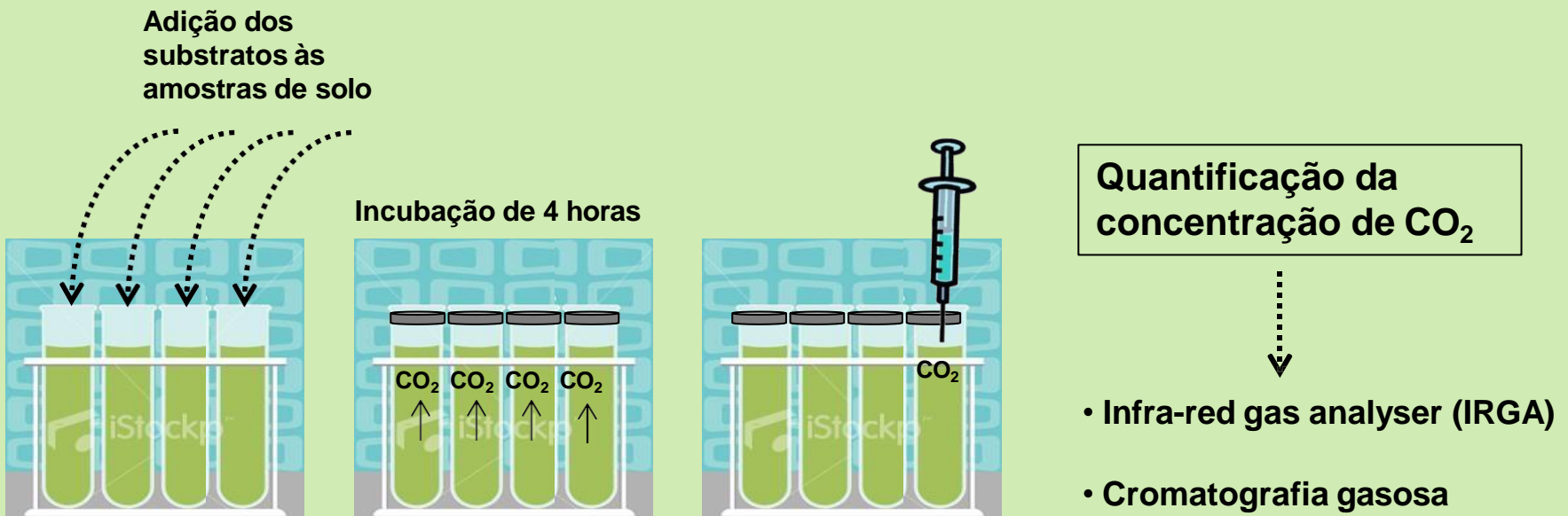
Consumo de substrato

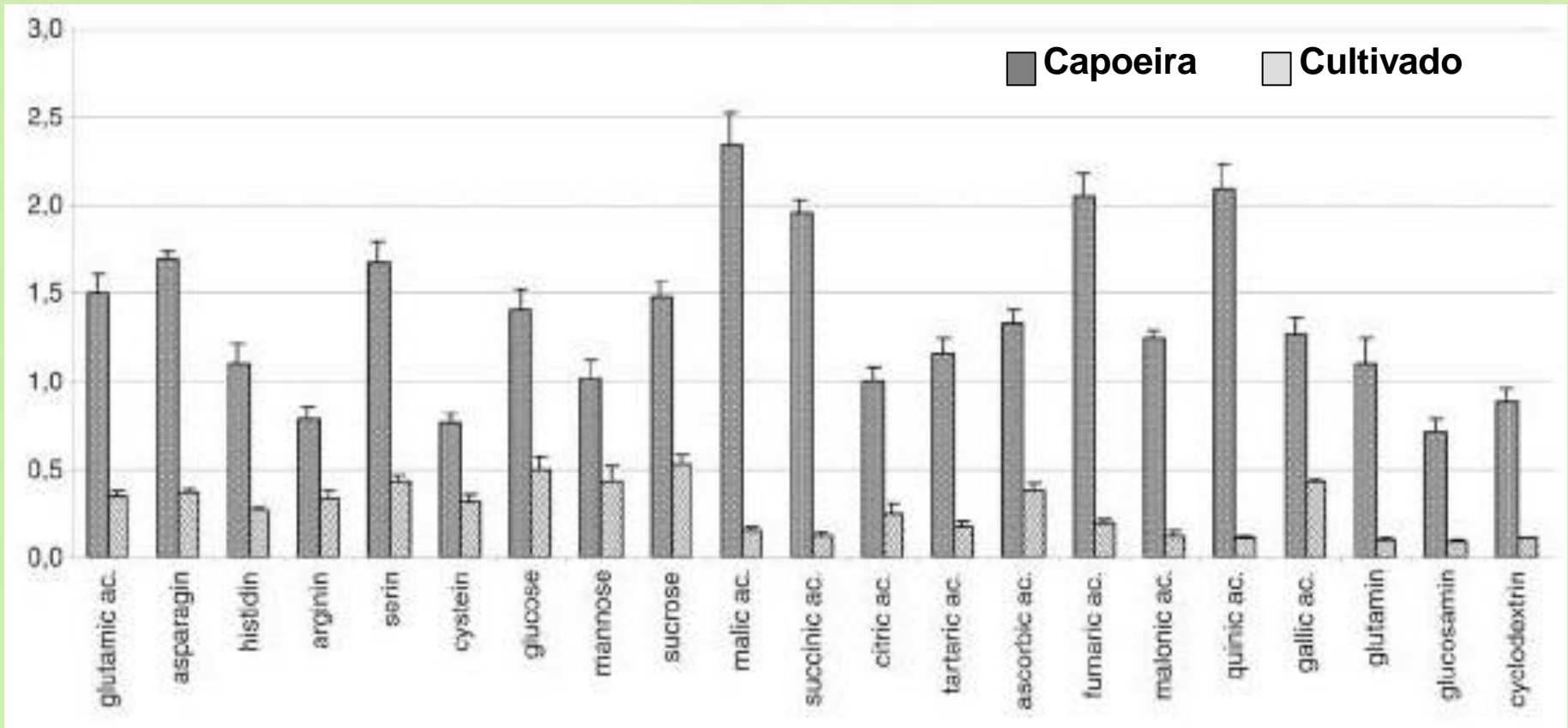
Catabolic Response Profile (CRP)

Medida da resposta respiratória à adição de substrato

21 substratos:

- 2 aminos
- 3 carboidratos
- 6 amino-ácidos
- 8 ácidos carboxílicos
- 1 aromático
- 1 polímero





Vantagens:

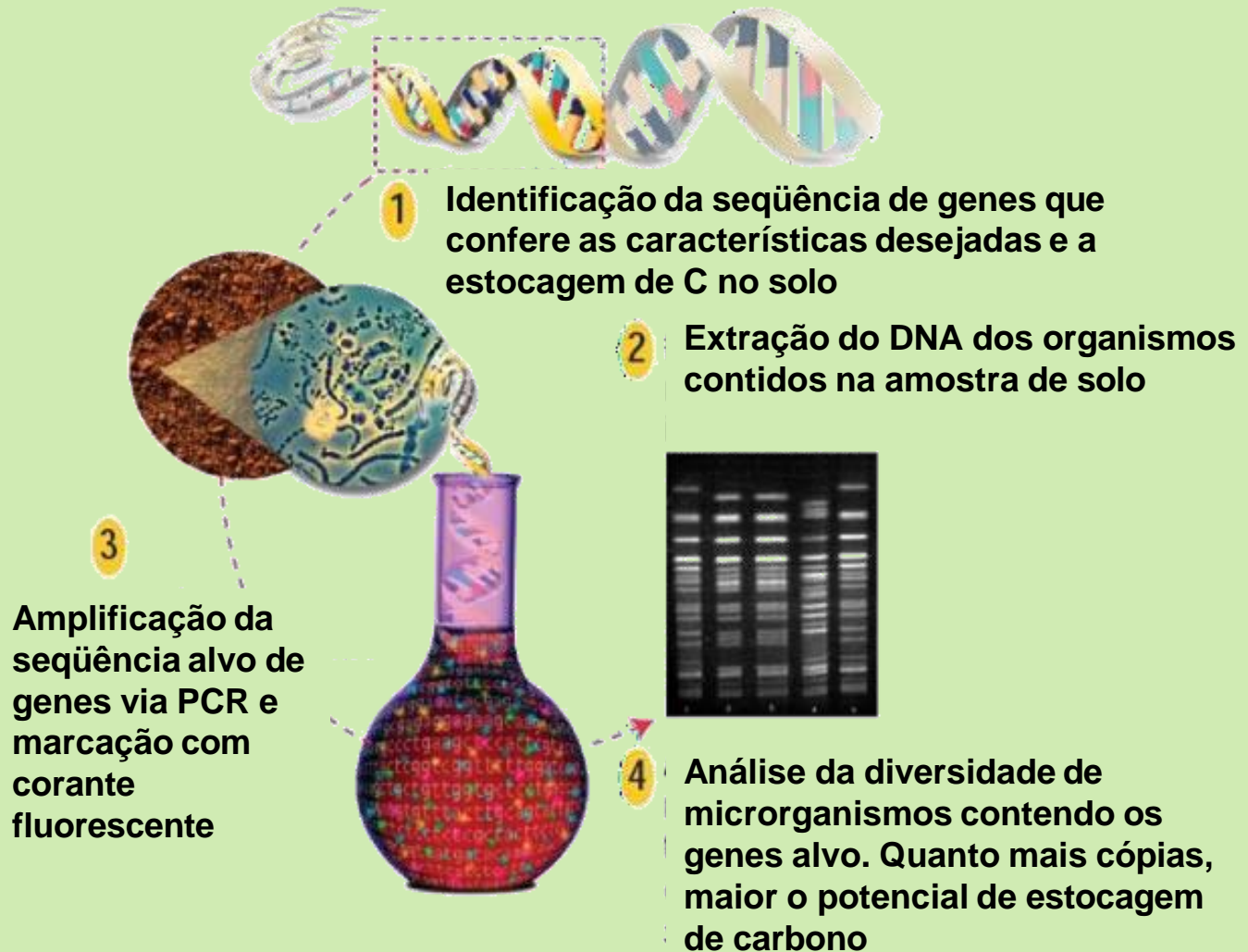
- Incubações curtas (4 horas);
- Microrganismos não são extraídos do solo;
- Inclui a resposta de todos os organismos;
- Os substratos adicionados podem ser alterados

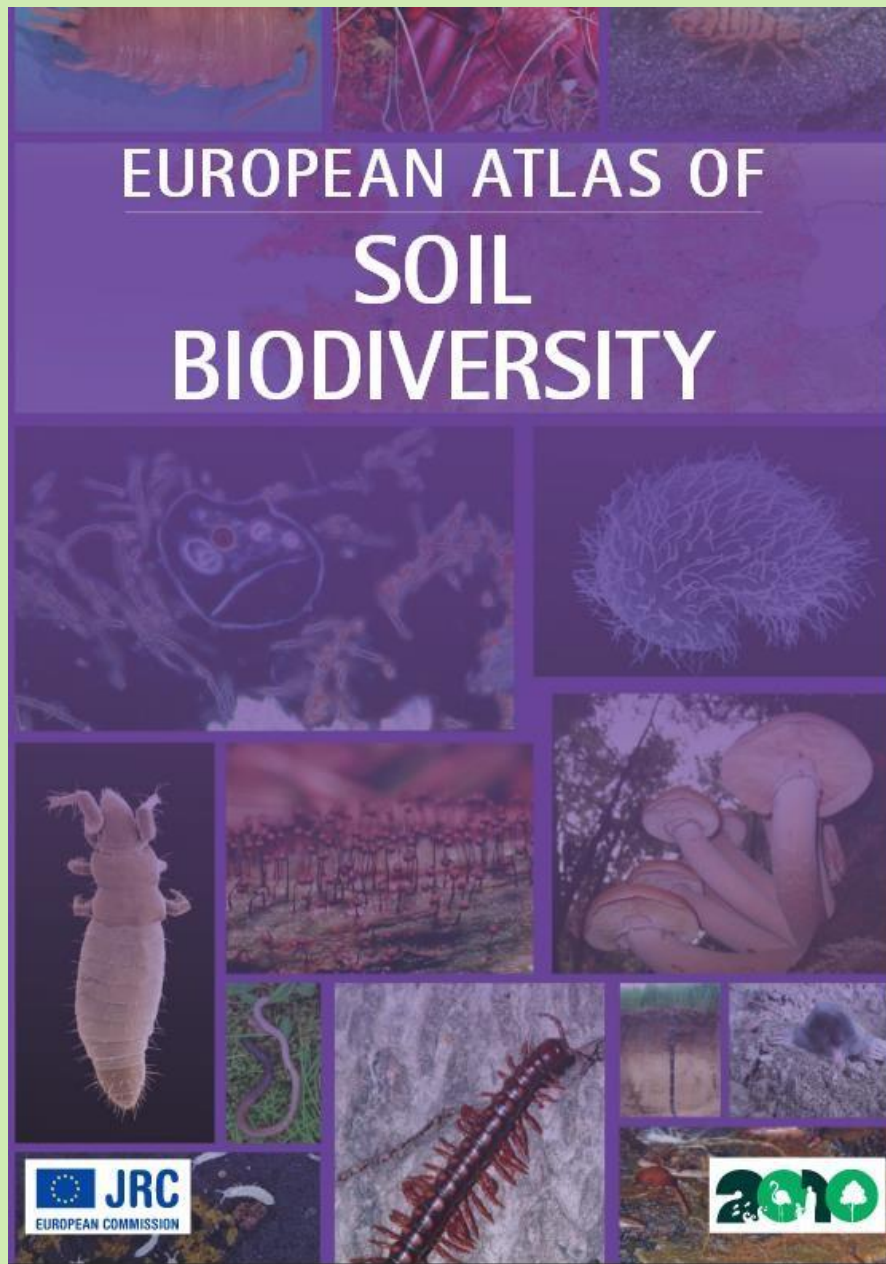
Desvantagens:

- Método trabalhoso;
- Estrutura original do solo é alterada

Biologia molecular

Análise do DNA extraído do solo





http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/Biodiversity_Atlas/download/1.pdf



<http://eurosoils.jrc.ec.europa.eu/awareness/Inventory.cfm>

<http://www.soil-net.com/>

http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm

The Oxford University Press logo, featuring a small green square with a white tree silhouette above the word "OXFORD" in white capital letters on a black background.

OXFORD

The book cover features a central image of a tree. The upper half of the tree is bare and dark, set against a background of reddish-brown soil layers. The lower half of the tree is lush and green, reflected in a body of water below. The title "SOIL ECOLOGY AND ECOSYSTEM SERVICES" is overlaid on the tree's trunk and branches.

SOIL ECOLOGY AND ECOSYSTEM SERVICES

Editor-in-Chief **DIANA H. WALL**

Section Editors: **RICHARD D. BARDGETT, VALERIE BEHAN-PELLETIER,
JEFFREY E. HERRICK, T. HEFIN JONES, KARL RITZ, JOHAN SIX,
DONALD R. STRONG, WIM H. VAN DER PUTTEN**