

Fauna edáfica como prestadora de serviços ecossistêmicos

George Brown, Cíntia Niva, Elodie da Silva, Embrapa

Luis F.N. Cunha, Cardiff University

Marie L.C. Bartz, Universidade Positivo

Amarildo Pasini, Universidade Estadual de Londrina

Herlon Nadolny, Universidade Federal do Paraná

Patrick Lavelle, IRD, Colômbia





Solos do mundo: uma questão de escala espacial...

- Água cobre 75% da terra
- Sobram 25%; mas 50% é inabitável
- Sobram 12,5%; mas só 25% pode ser usado
- Sobram apenas 3,1%!

E temporal...



- >100 anos para formar 1cm de solo

Um recurso não renovável em escala temporal humana



Mas ele está em perigo!



2000

50km



2010

50km



E precisa ser bem manejado e conservado!



Serviços ambientais (MEA, 2005)

Benefícios que os humanos obtém das funções ecossistêmicas

Provisão:

Bens produzidos ou providenciados pelos ecossistemas

- Alimento
- Água
- Fibra
- Biomassa
- Bioquímicos
- Recursos genéticos

Regulação: Benefícios

obtidos da regulação dos processos ecossistêmicos

- Regulação do clima
- Controle de doenças e pragas
- Controle da erosão e enchentes
- Tratamento de poluentes
- Polinização
- Purificação da água

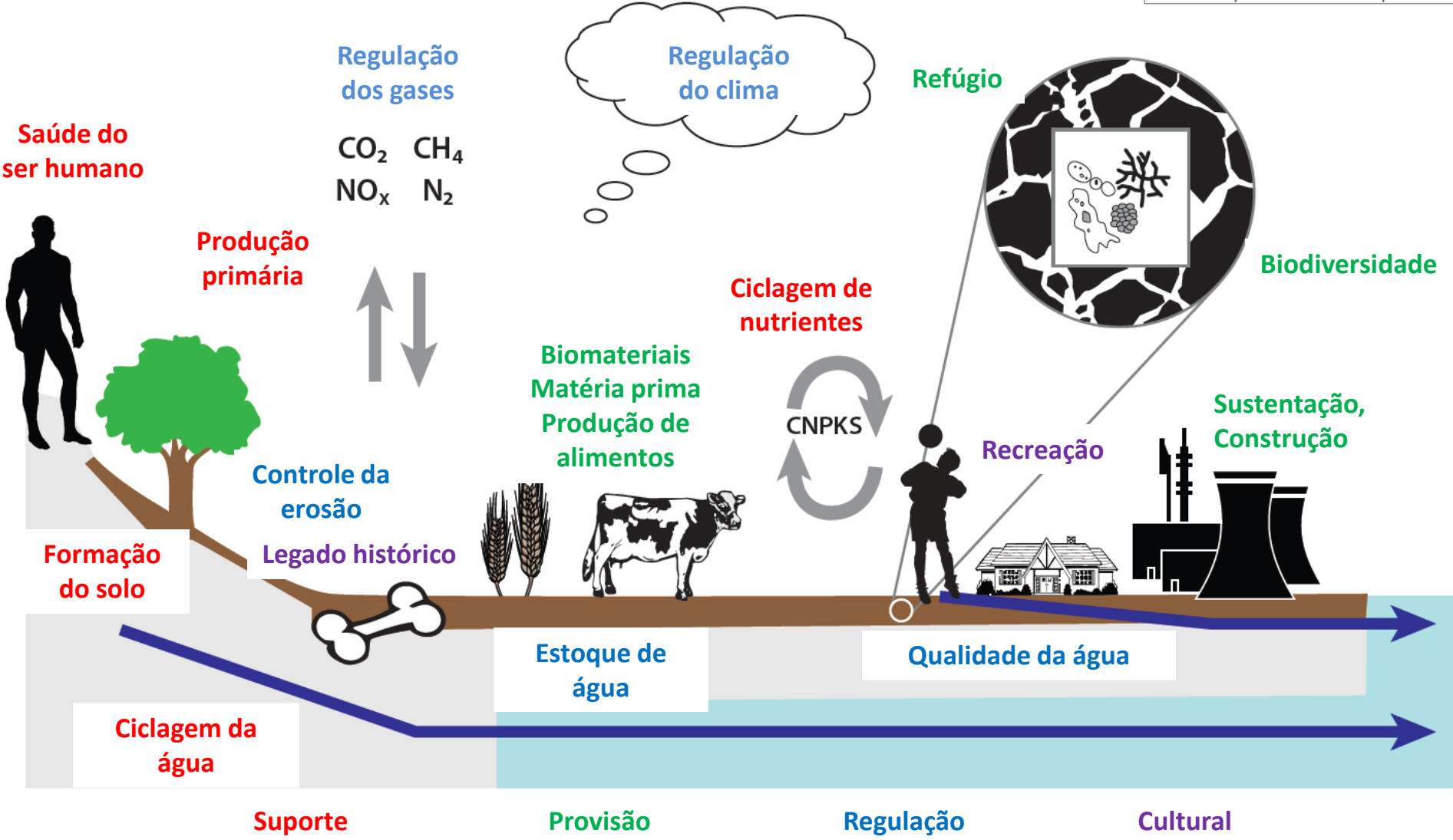
Culturais:

Bens não materiais obtidos dos ecossistemas

- Espiritual
- Recreação
- Estéticos
- Educacionais
- Comuns
- Simbólicos
- Inspiração

Suporte: Serviços que mantem as condições para a vida na terra

- Formação do solo
- Ciclagem de água e de nutrientes
- Fotosíntese e Produção primária



- Os solos nos dão importantes serviços ambientais



Controle climático

Valor cultural

Balanco hídrico

Biotecnologia

Produção vegetal

Conservação da biodiversidade

Produção agrícola

Balanco de nutrientes

Decomposição

Controle biológico

Habitat

- São a base de nossa produção agrícola e florestal
- São fundamentais para nossa sobrevivência!

O solo não é somente um substrato para as plantas...
É um ente vivo!

- O solo pode ser o hábitat mais biodiverso no mundo

- Sua biota providencia serviços ambientais essenciais

- Mas... pouco conhecidos em geral



Food and Agriculture Organization
of the United Nations

Dia do Solo
5 Dezembro



HÁ MAIS
ORGANISMOS
NUMA COLHER
DE SOLO SAUDAVÉL...



...DO QUE PESSOAS
NA TERRA



Alta biodiversidade local da biota edáfica

Grupos/Táxons	No espécies
<u>Microorganismos</u>	
Bactérias	Milhares?
Fungos	Centenas
Nematoídes	Dezenas
<u>Fauna</u>	
Besouros, Ácaros	Centenas
Colêmbolos, cupins, formigas	Dezenas
Minhocas	<10

Não existe inventário completo da biota edáfica!!! (>1000 spp. invertebrado numa floresta Alemã! Schaefer & Schauer mann, 1990)

~25% das espécies conhecidas
vem do solo ou vivem nele...

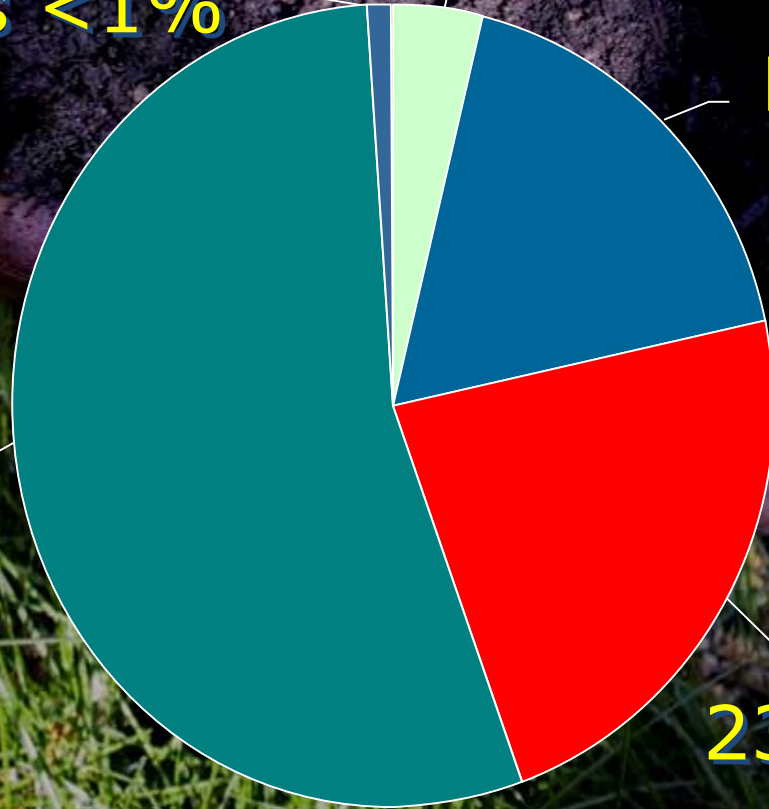
Bactérias &
vírus <1%

Fungos 4%

Plantas 18%

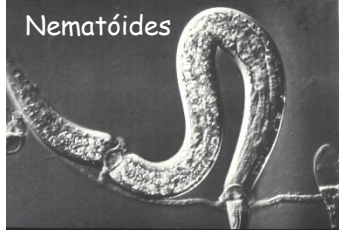
Outros
animais
55%

Animais edáficos
23% (i.e. ~360 000)





Acari



Nematóides



Lesmas



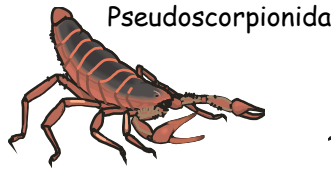
Collembola



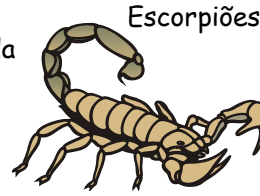
Protozoário



Enquitreídeos



Pseudoscorpionida



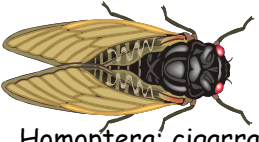
Escorpiões



Neuroptera



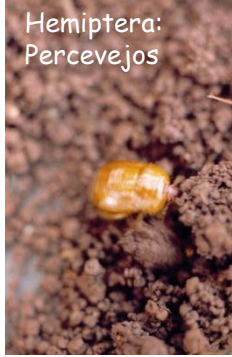
Opiliona



Homoptera: cigarras



Diplopoda: Milipéias



Hemiptera: Percevejos

São + de 30 Táxons diferentes



Gastropoda: Caracóis



Dictyoptera: Baratas



Coleoptera: Larvas



Oligochaeta: Minhocas



Formicidae: Formigas



Isopoda: Tatuzinhos



Dermatera: Tesourinhas



Orthoptera: Grilos



Chilopoda: Centopéias



Isoptera: Cupins



Coleoptera: Adultos



Lepidoptera: Mariposas esp.



Arachnida: Aranhas etc.



Diptera: Moscas

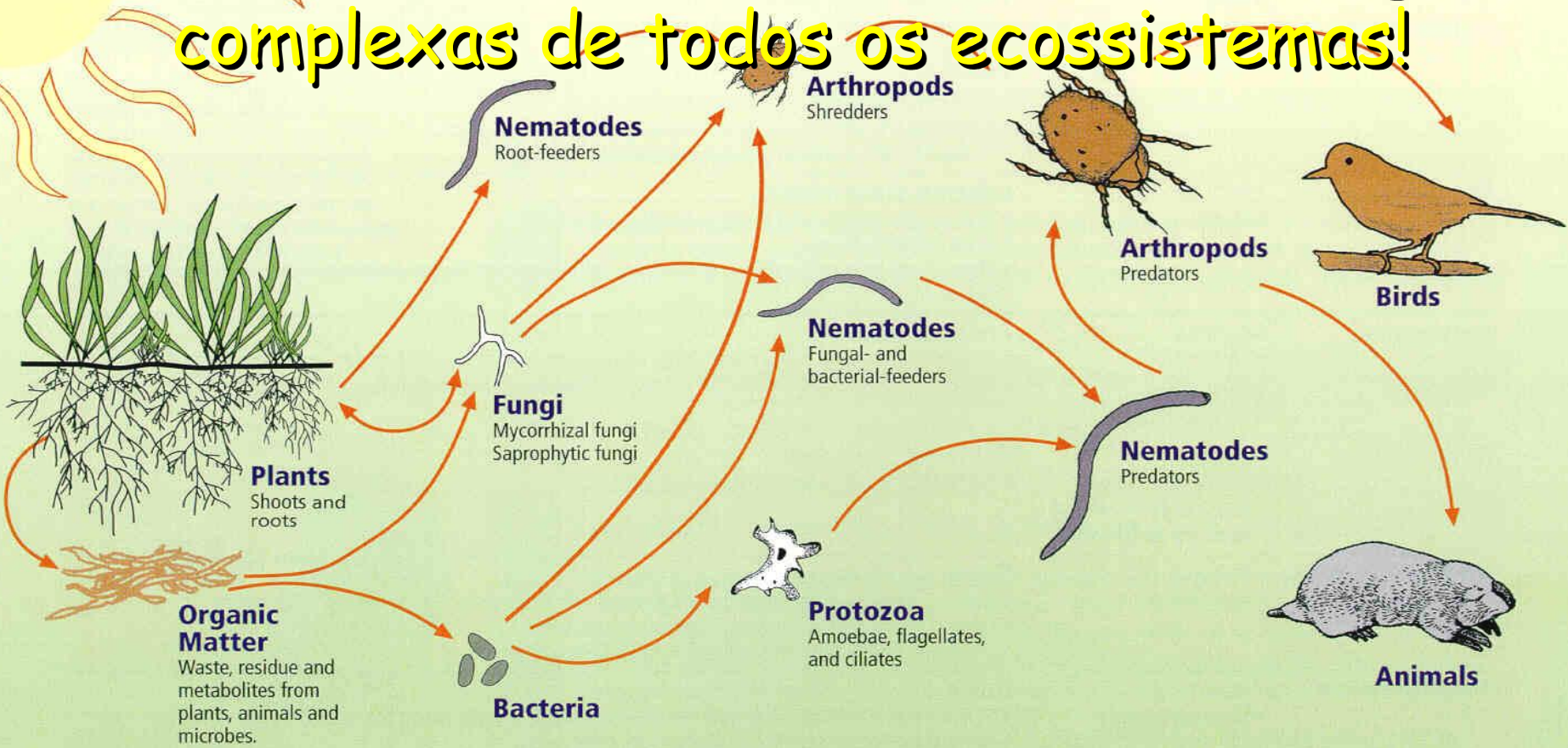
OUTUNIMA 005
Querarimiri, Vaupes, Colombia
leg. D. Dufour 24.VII.76

Mas pouco conhecidos...

Táxons	No. espécies	% não descritos
Nematoídes	5,000	99%
Ácaros	25,000	97%
Besouros	208,300	??
Aranhas	9,539	??
Tatuzinhos	5,000	??
Formigas	8,800	59%
Cupins	1,600	53%
Minhocas	3,800	50%
Colêmbolos	6,500	28%
Moscas	60,000	25%
Milipéias	10,000	17%

The Soil Food Web

O solo tem as teias alimentares mais longas e complexas de todos os ecossistemas!



- First trophic level:**
Photosynthesizers
- Second trophic level:**
Decomposers
Mutualists
Pathogens, parasites
Root-feeders
- Third trophic level:**
Shredders
Predators
Grazers
- Fourth trophic level:**
Higher level predators
- Fifth and higher trophic levels:**
Higher level predators

Acima do solo: biodiversidade planejada e manejada

A maior parte da biodiversidade nos agroecossistemas não está acima do solo, mas DENTRO dele!

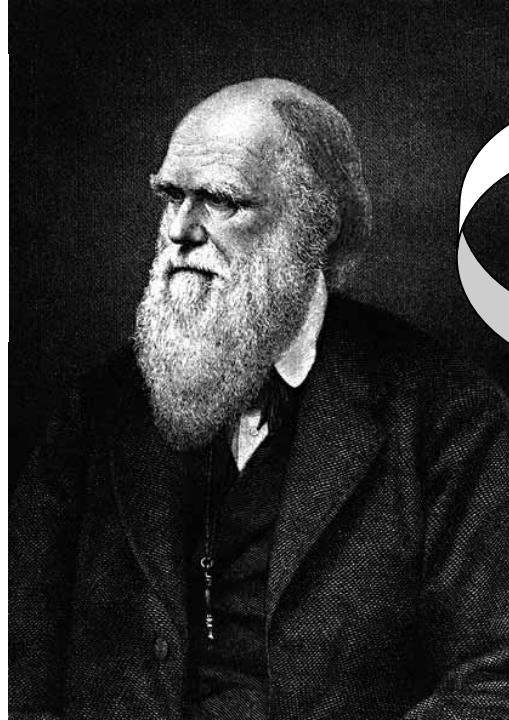
O que os olhos não vêem o coração não sente (out of sight, out of mind) ?

Dentro do solo: biodiversidade não planejada e não manejada

Importância:

- **Ecológica:** reguladores de processos edáficos, predadores e presas
- **Prática:** bioindicadores da qualidade e contaminação do solo
- **Econômica:** fertilidade do solo e produção vegetal

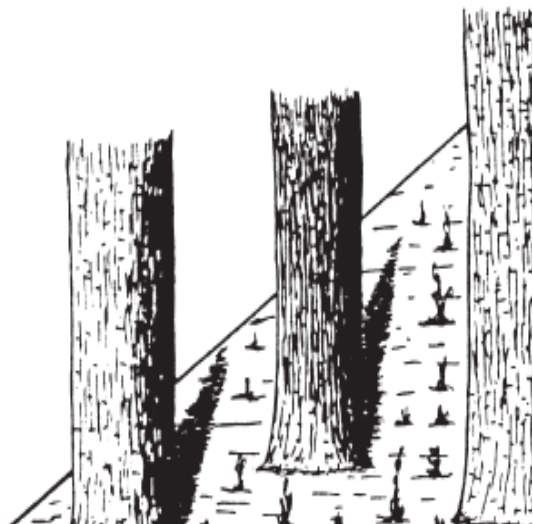




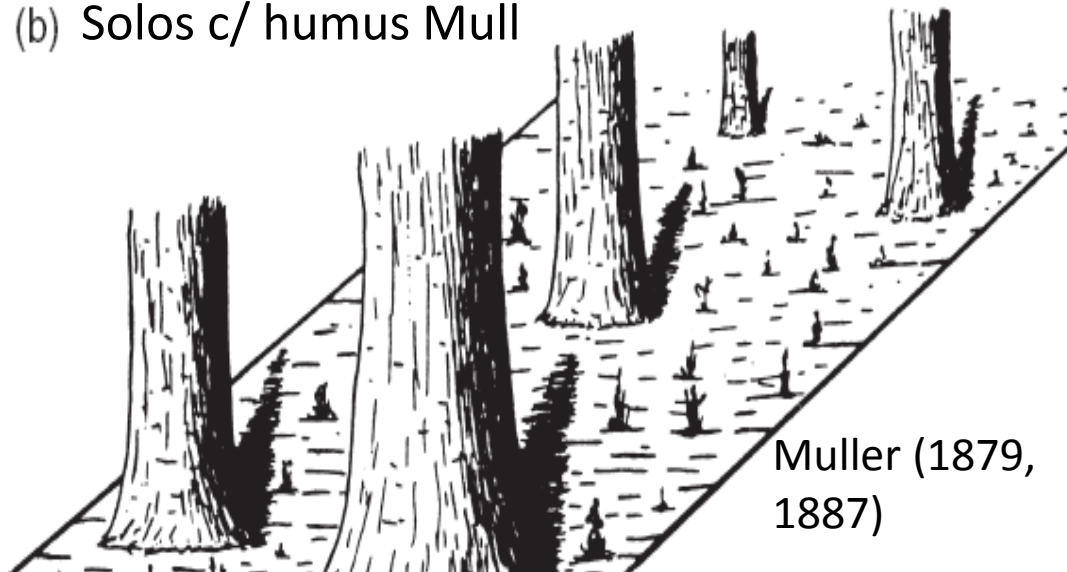
Darwin (1837, 1844, 1881)

- “Archeologists ought to be grateful to worms”
- “Worms prepare the ground in an excellent manner for the growth of fibrous-rooted plants and for seedlings of all kinds”

(a) Solos c/ humus Mor



(b) Solos c/ humus Mull



Muller (1879,
1887)



MULL



MODER



MOR

Funções no Solo: Três processos básicos

1. Decomposição, ciclagem nutrientes, dinâm. MO

Processos de digestão
Hábitos alimentares

2. Prop. físicas do solo: agregação, porosidade,
prop. hidráulicas

Bioturbação

3. Controle biológico:
plantas e animais

Pragas, predadores

Serviços afetados pela fauna edáfica

- ✓ **Decomposição da matéria orgânica**
- ✓ **Ciclagem de nutrientes**
- ✓ **Fluxo de gases e Emissão de gases de efeito estufa**
- ✓ **Sequestro de C**
- ✓ **Produtividade primária (benéficos / pragas)**
- ✓ **Agregação do solo**
- ✓ **Infiltração e capacidade de retenção de água**

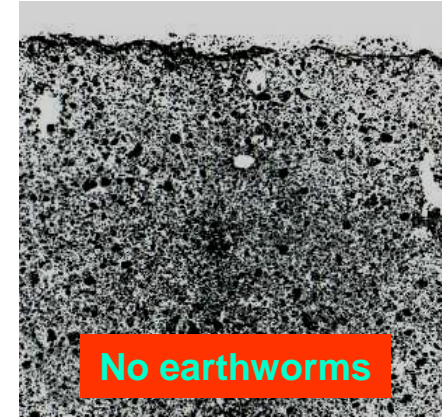


Disponibilidade de água/Proteção de enchentes

Processo ecossistêmico: Infiltração e armazenamento de água no espaço poroso do solo

Contribuição da fauna: construção e manutenção de uma porosidade estável por bioturbação e criação de galerias

Indicador: estruturas biogênicas no solo



Aina, P. O. *Pedobiologia* **26**, 131-136 (1984).

Alegre, J. C., Pashanasi, B. & Lavelle, P. *Soil Science* **119**, 242-249 (1975).

Gijsman, A. J. & Thomas, R. J. *Trop Grasslands* **30**, 237-248 (1996).

Kladivko E J, Mackay A D & Bradford J M. *Soil Sc. Soc. Am. J.* **50**, 191-196 (1986).

Trout T J & Johnson G S. *Transactions of the ASAE* **32**, 1594-1598 (1989).

Zachmann, J. E., Linden, D. R. & Clapp, C. E. *Soil Sc. Soc. Am. J.* **51**, 1581-1586 (1987).

Zachmann J E & Linden D R. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **53** (1989).

Hallaire, V., Curmi, P., Duboisset, A., Lavelle, P. & Pashanasi, B. *European Journal Of Soil Biology. Jan Mar* **36**, 35-44 (2000).

Blanchart, E. et al. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **104**, 303-315 (2004).

Tomlin, A. D., Shipitalo, M. J., Edwards, M. W. & Protz, R. (In Hendrix, P. F.eds) 1995).

Micromorfologia : técnica modificada de Ponge (1999)

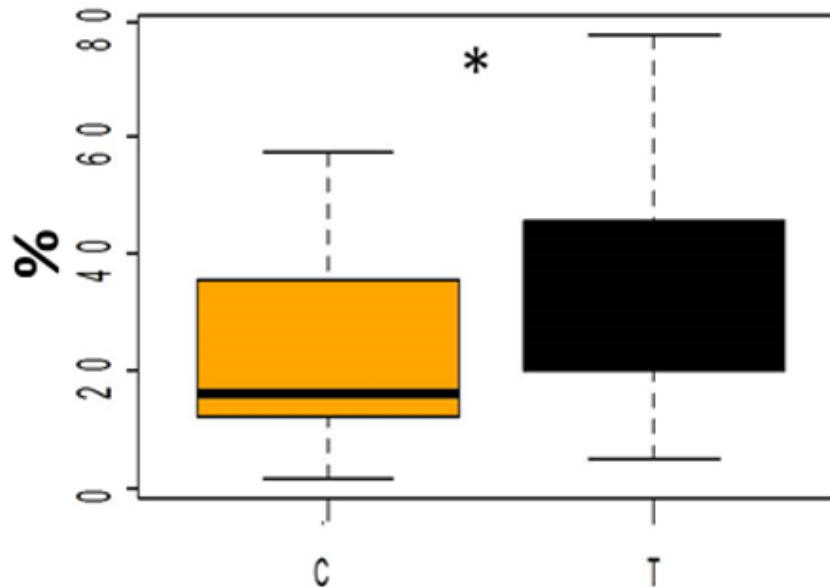
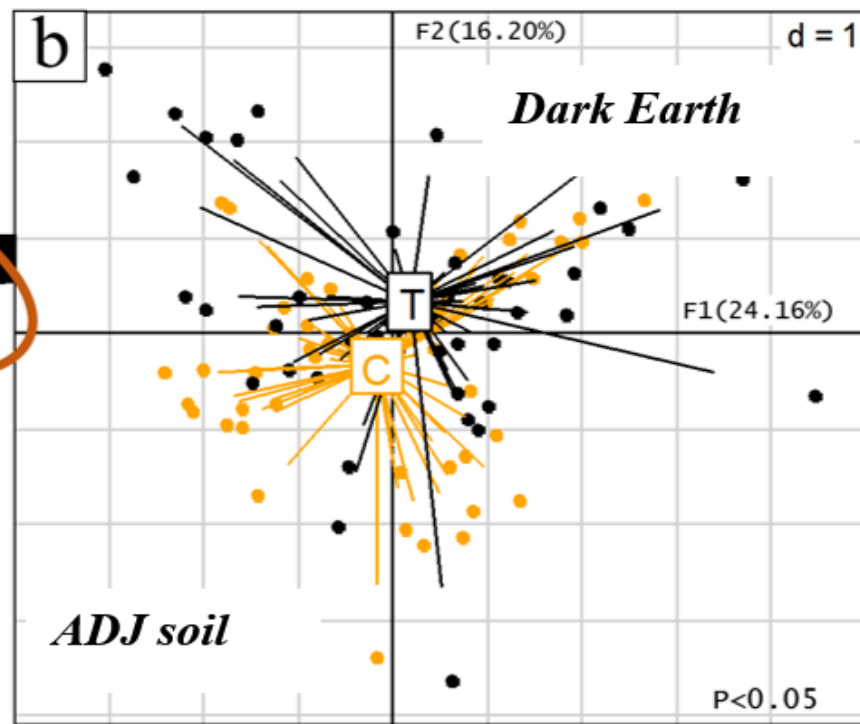
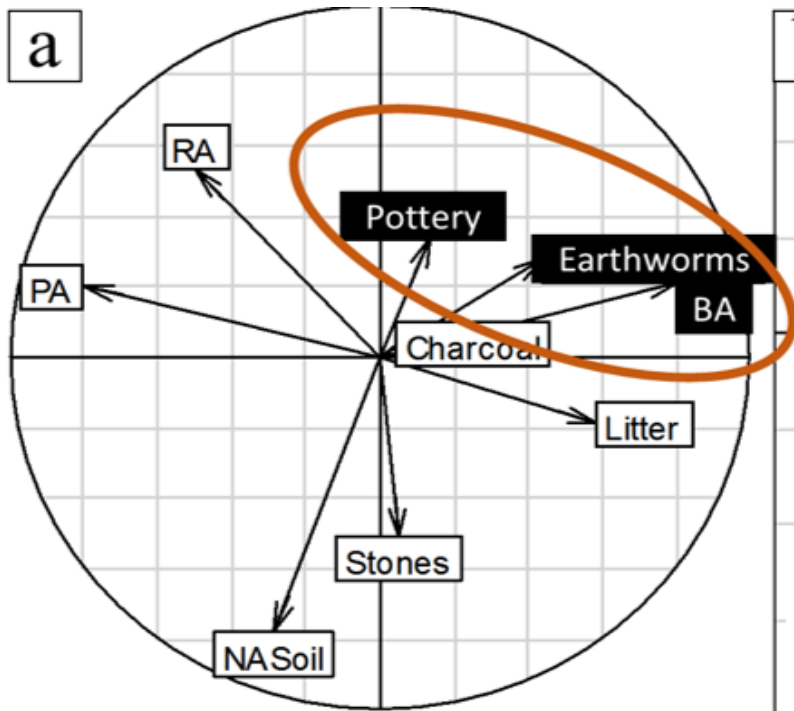
Fonte: Velasquez, tese 2004



**10x10x10cm
amostra**

**Agregados
Organo-minerais e
Minerais**





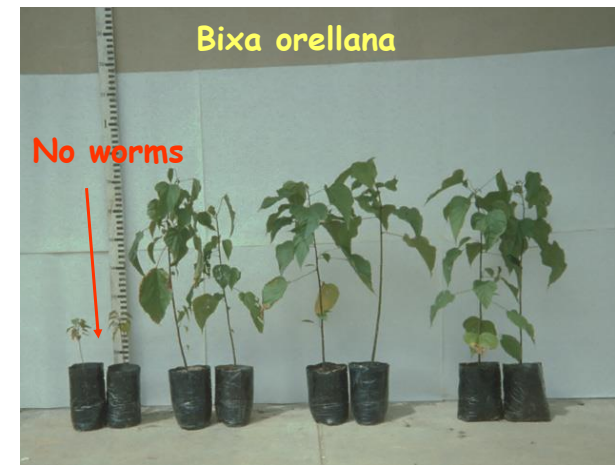
**Agregados
Biogênicos em
Terras Pretas e
a atividade das
minhocas**

Estimulação da produção vegetal e Proteção contra pragas e doenças

Processo ecossistêmico: Produção primária

Contribuição da fauna: alteração da disponibilidade e absorção de nutrientes, melhora nas propriedades físicas, controle de pragas e doenças, dispersão de organismos benéficos, liberação de substâncias promotoras do crescimento

Indicador: morfologia do solo; comunidades microbianas; abundância e diversidade de pragas; expressão gênica da planta



Brown, G. et al. in Lavelle, P., Brussaard, L. & Hendrix, P. 87-148 (CAB International, Wallingford, UK, 1999).

Scheu, S. *Pedobiologia* **47**, 846-856 (2003).

Blouin, M., Barot, S. & Lavelle, P. *Soil Biol. Biochem.* **38**, 2063-2068 (2006).

Blouin, M. Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A.T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., Tondoh, J., Lavelle, P. *Ecol Lett* **8**, 8 (202-208). (2005).

Ciclagem de nutrientes

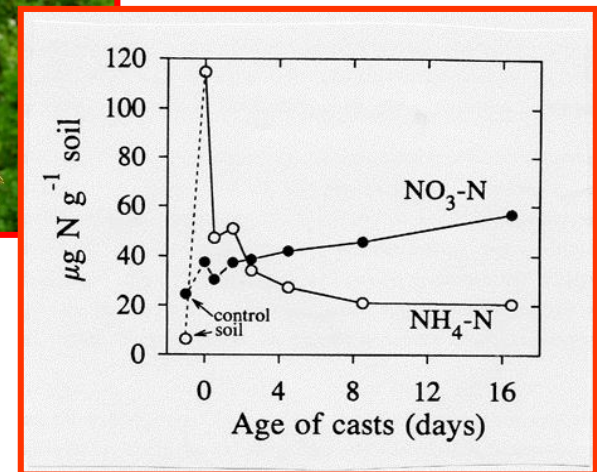
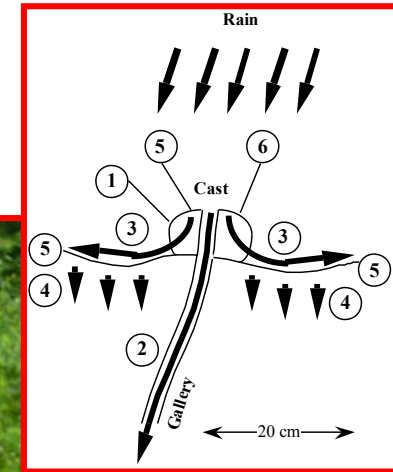
Processo ecossistêmico:

Decomposição, humificação, sincronia

Contribuição da fauna:

Desintegração, seleção/ativação de comunidades microbianas

Indicador: taxa de decomposição, distribuição da MO no solo e nas frações; atividades enzimáticas



Hendrix, P. F. *Earthworms ecology and biogeography in north america* (Lewis publishers, London, 1995)

Edwards C. A. ed. *Earthworm Ecology* (Edwards Clive A) (CRC Press, Boca Raton, 2004).

Edwards, C. A. & Bohlen, P. J. *Biology and Ecology of earthworms* (Chapman and Hall, London, 1996).

Lavelle, P. & Spain, A. V. *Soil Ecology* (Kluwer Scientific Publications, Amsterdam, 2001).

Decaëns T., Rangel A.F., Asakawa N., Thomas R. (1999) *Biology and Fertility of Soils*, 30, 20-28.

Litter bags

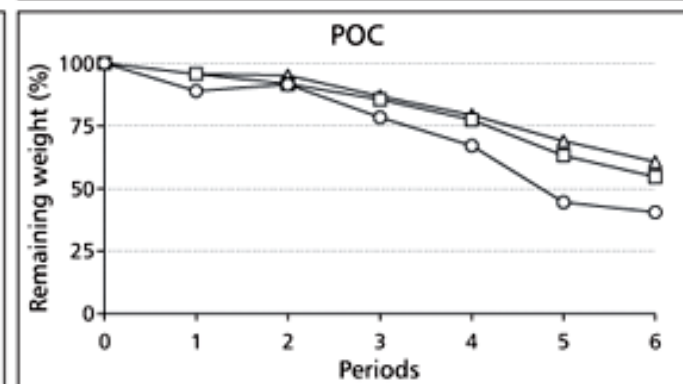
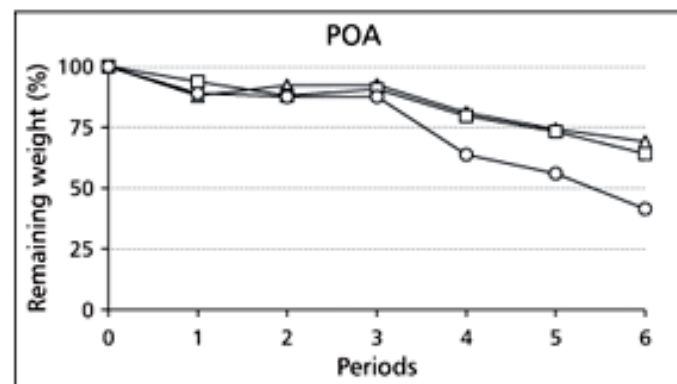
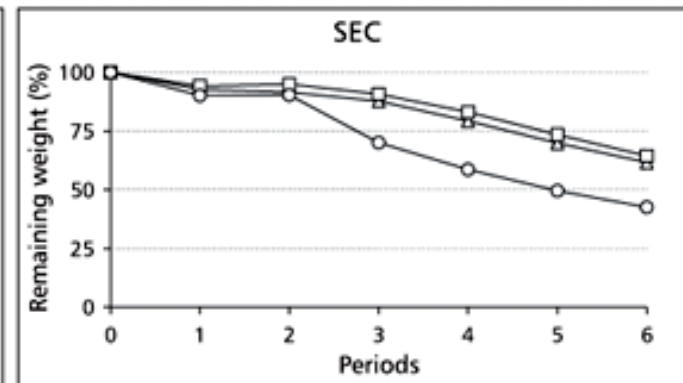
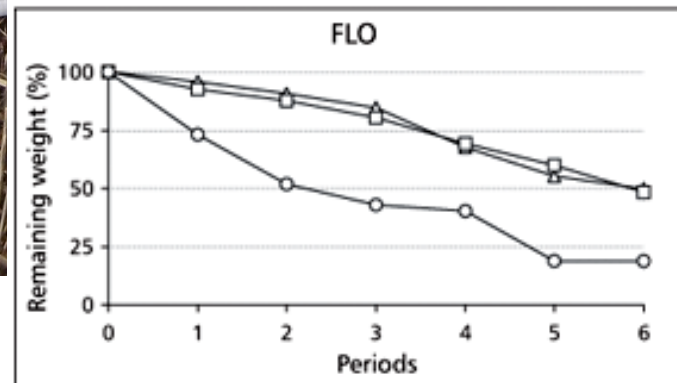
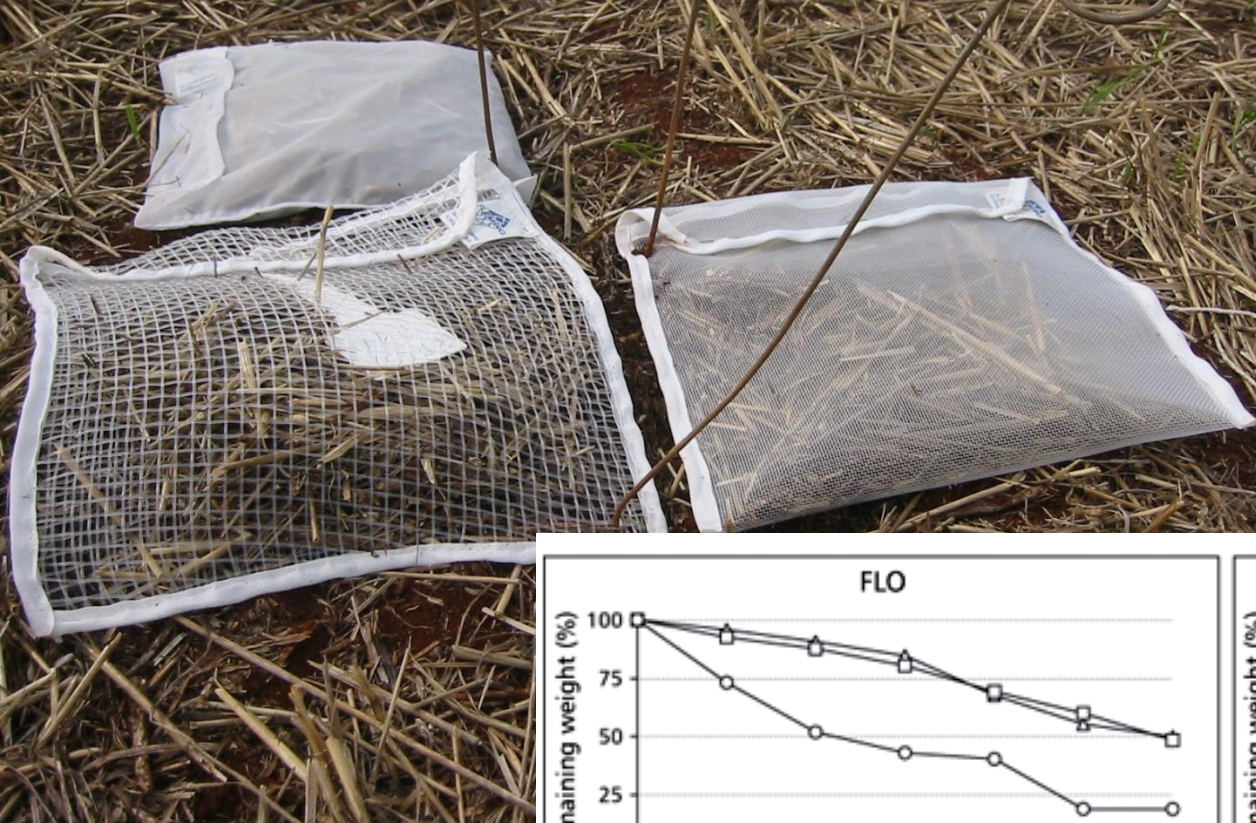
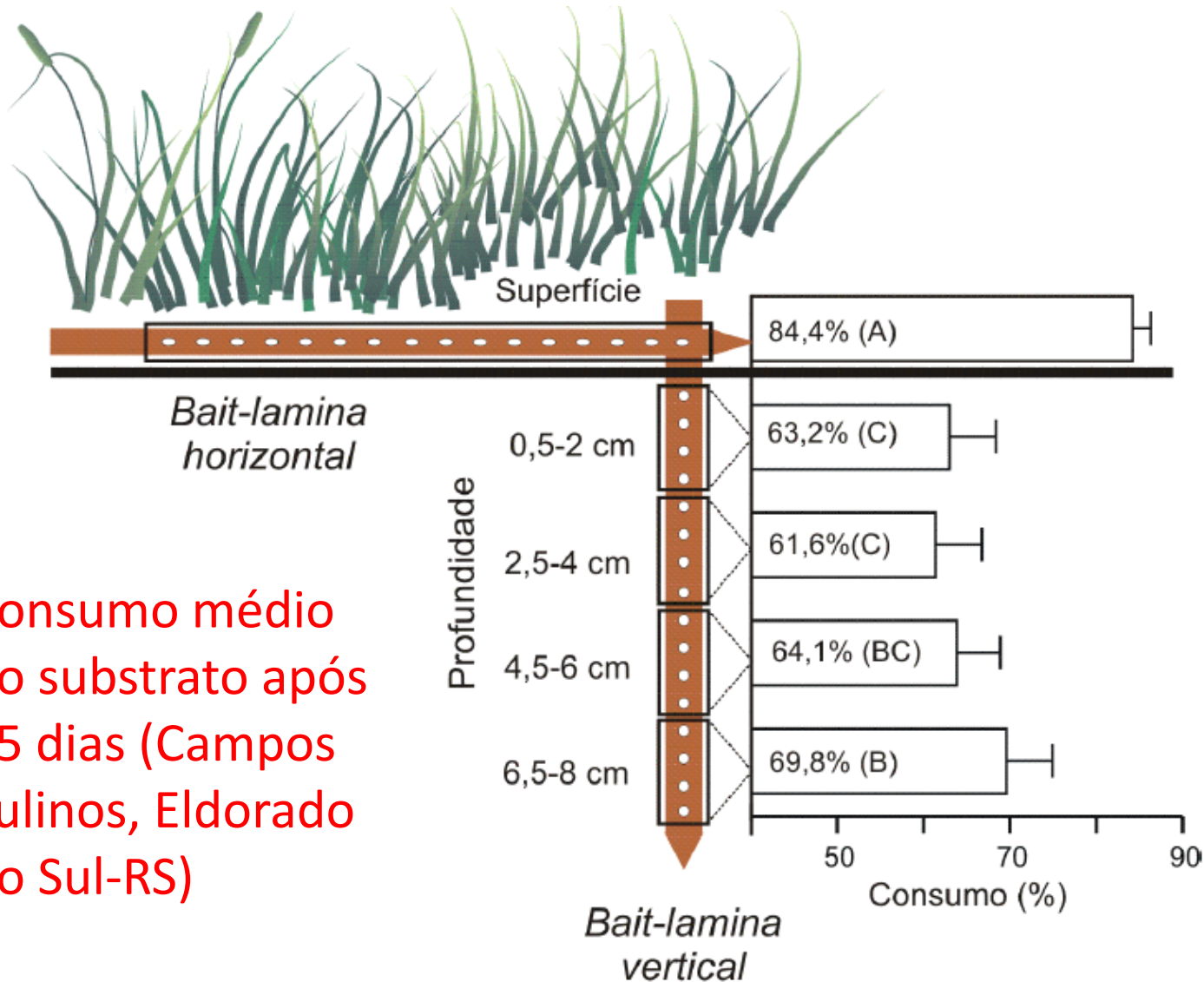


Fig. 1 — Decomposition rates of *Vismia guianensis* at FLO, SEC, POA, and POC (circle = coarse mesh; square = medium mesh; triangle = fine mesh). The six periods are: 26, 58, 111, 174, 278, and 350 days of exposure.

A presença de fauna edáfica acelera a decomposição dos materiais deixados nos litter bags (Franklin et al., 2004)

Bait lamina



Consumo médio do substrato após 65 dias (Campos Sulinos, Eldorado do Sul-RS)



Descontaminação, reciclagem (Minhocultura e Compostagem)



- Processamento de toneladas de restos orgânicos de diferentes fontes (indústria, domiciliar, etc.)
- Gera isca, alimento, farinha e adubo/substrato orgânico de alta qualidade (húmus)
- Sub-aproveitado no Brasil (e no mundo)

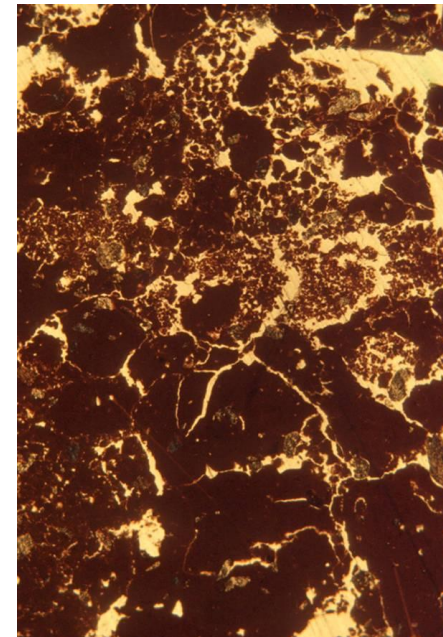
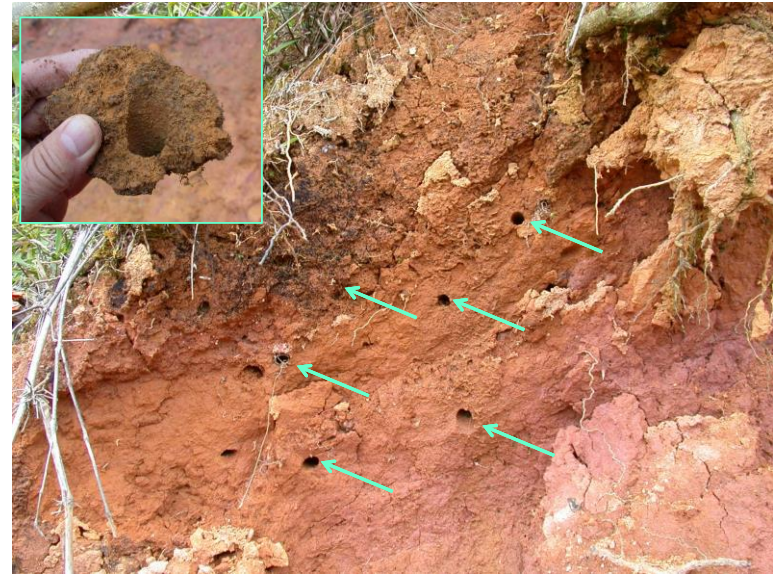


Formação e conservação do solo

Processo ecossistêmico: Pedogênese

Contribuição da fauna: Bioturbação,
deposição de solo na superfície,
seleção de partículas

Indicador: deposição de dejeções
superficiais, morfologia do solo,
spectroscopia de dejeções



Lee K E. Academic Press, Sydney, 1985.

Pop V V & Postolache T. in *On earthworms* (eds. Anna Bonvicini Pagliai & P Omodeo) 141-150 (Mucchi ed., Modena, 1987).

Nooren C A M, Breemen N van, Stoorvogel J J & Jongmans A G. *Geoderma* **65**, 135-148 (1995).

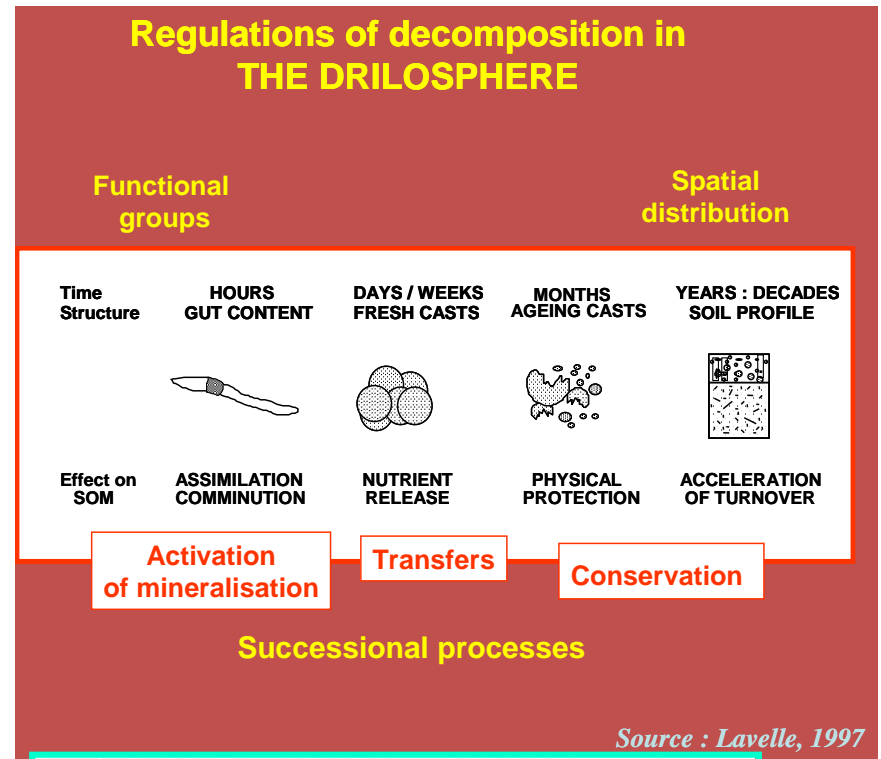
Le Bayon, R. C. & Binet, F. *Biology and Fertility of Soil* **30**, 7-13 (1999).

Decaëns, T. *Biology and Fertility of Soils* **32**, 149-156 (2000).

Regulação do clima

Processo ecossistêmico: Estoque de MO no solo ou na biomassa vegetal; Emissão e consumo de GEE

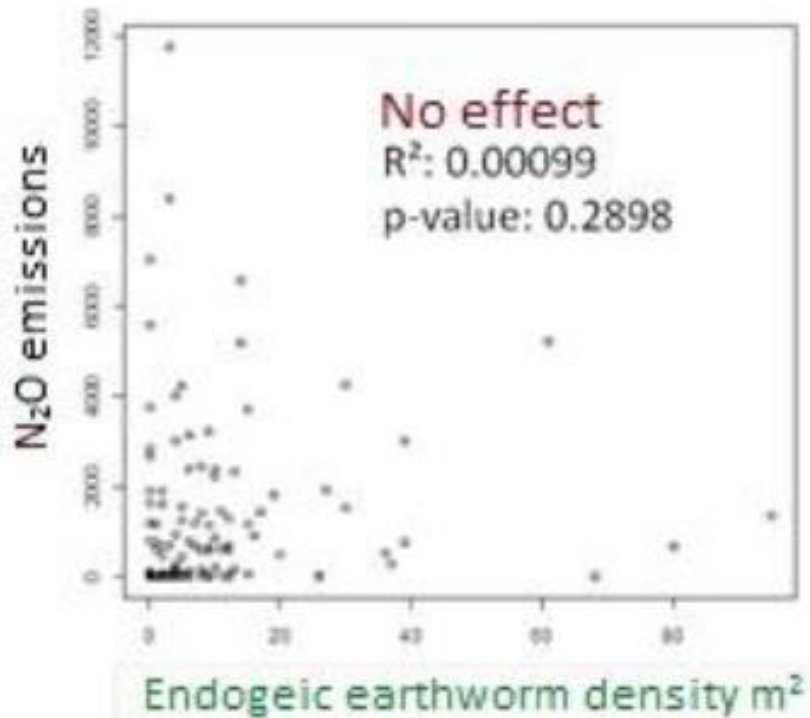
Contribuição da fauna: Formação de agregados biogênicos estáveis; translocação a camadas



- Boyle, K. E., Curry, J. P. & Farrell, E. P. *Biol Fert Soils* **25**, 20-26 (1997).
- Fragoso, C., Barois, I., et al in Merck (ed.) The dynamics of soil organic matter in relation to the sustainability of tropical agriculture. 231-239 (1993).
- Lavelle, P. et al in *Earthworm Ecology* (ed. Edwards, C. A.) 103-122 (St Lucie Press, Columbus Ohio, 1997).
- Martin, A. *Biol Fert Soils* **11**, 234-238 (1991).
- Martin A, et al... *Ecology* **73**, 118-128 (1992).
- Villenave C et al. in *Management of tropical earthworm activities* (CAB-International, 1999).
- Briones, M. J. I., Bol, R., Sleep, D. & Sampedro, L. *Pedobiologia* **43**, 675-683 (1999).
- Brown, G. G., Barois, I. & Lavelle, P. *European Journal of Soil Biology* **36**, 177-198 (2000).
- Hendrix, P. F. et al. *Pedobiologia* **43**, 818-823 (1999).
- Koutika, L. S., Didden, W. A. M. & Marinissen, J. C. Y. *Biology and Fertility of Soils* **33**, 294-300 (2001).
- McNerney, M. & Bolger, T. *Soil Biology and Biochemistry* **32**, 335-349 (2000).
- Neilson, R., Boag, B. & Smith, M.. *Soil Biology and Biochemistry* **32**, 1053-1061 (2000).
- McNerney, M., Little, D. J. & Bolger, T. *European Journal of Soil Biology* **37**, 251-254 (2001).
- Lavelle, P. et al. in *Earthworm Ecology* (ed. Edwards, C. A.) (St. Lucies Press, Boca Raton, 1998).
- Marashi, A. R. A. & Scullion, J. *Biology and Fertility of Soils* **37**, 375-380 (2003).
- Marinissen, J. C. Y. & Hillenaar, S. I. *Soil Biology and Biochemistry* **29**, 391-395 (1997).
- Bossuyt, H., Six, J. & Hendrix, P. F. *Soil Biology and Biochemistry* **37**, 251-258 (2005).
- Trigo, D. et al. *Pedobiologia* **43**, 866-873 (1999).

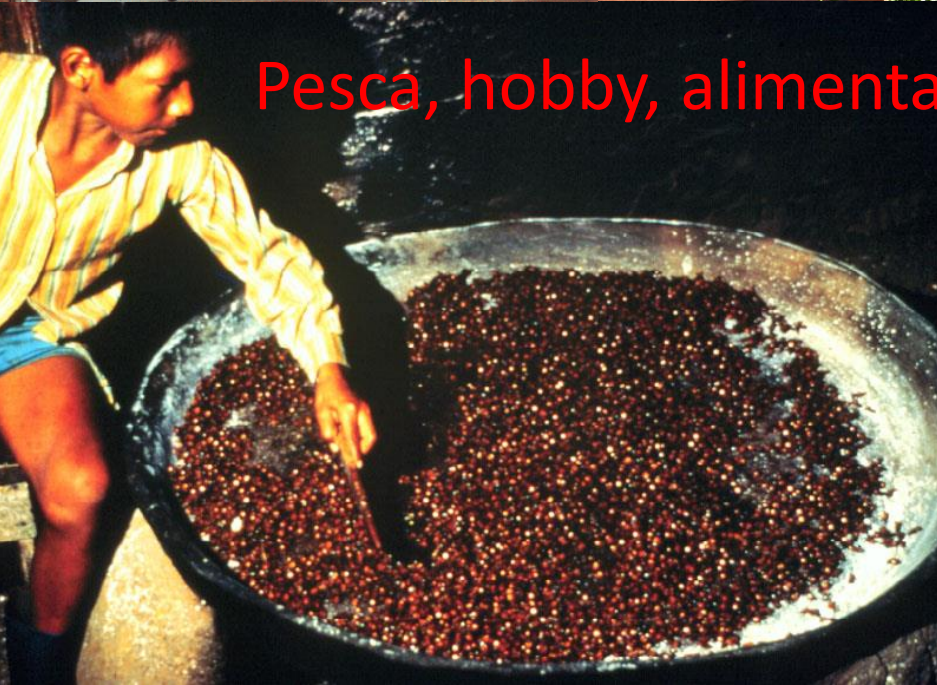
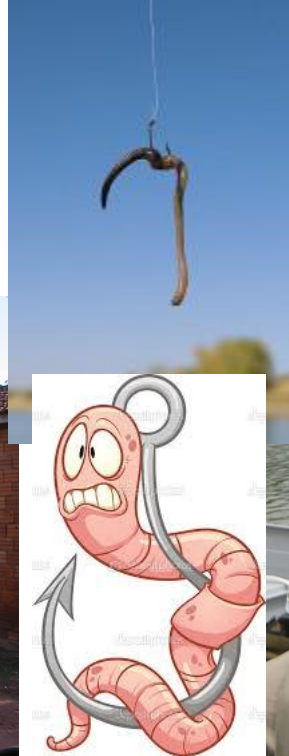
Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms

Ingrid M. Lubbers^{1*}, Kees Jan van Groenigen², Steven J. Fonte³, Johan Six⁴, Lijbert Brussaard¹ and Jan Willem van Groenigen¹



- Quando há plantas no sistema, efeito na emissão de GEE é nulo

Valor cultural



Pesca, hobby, alimentação

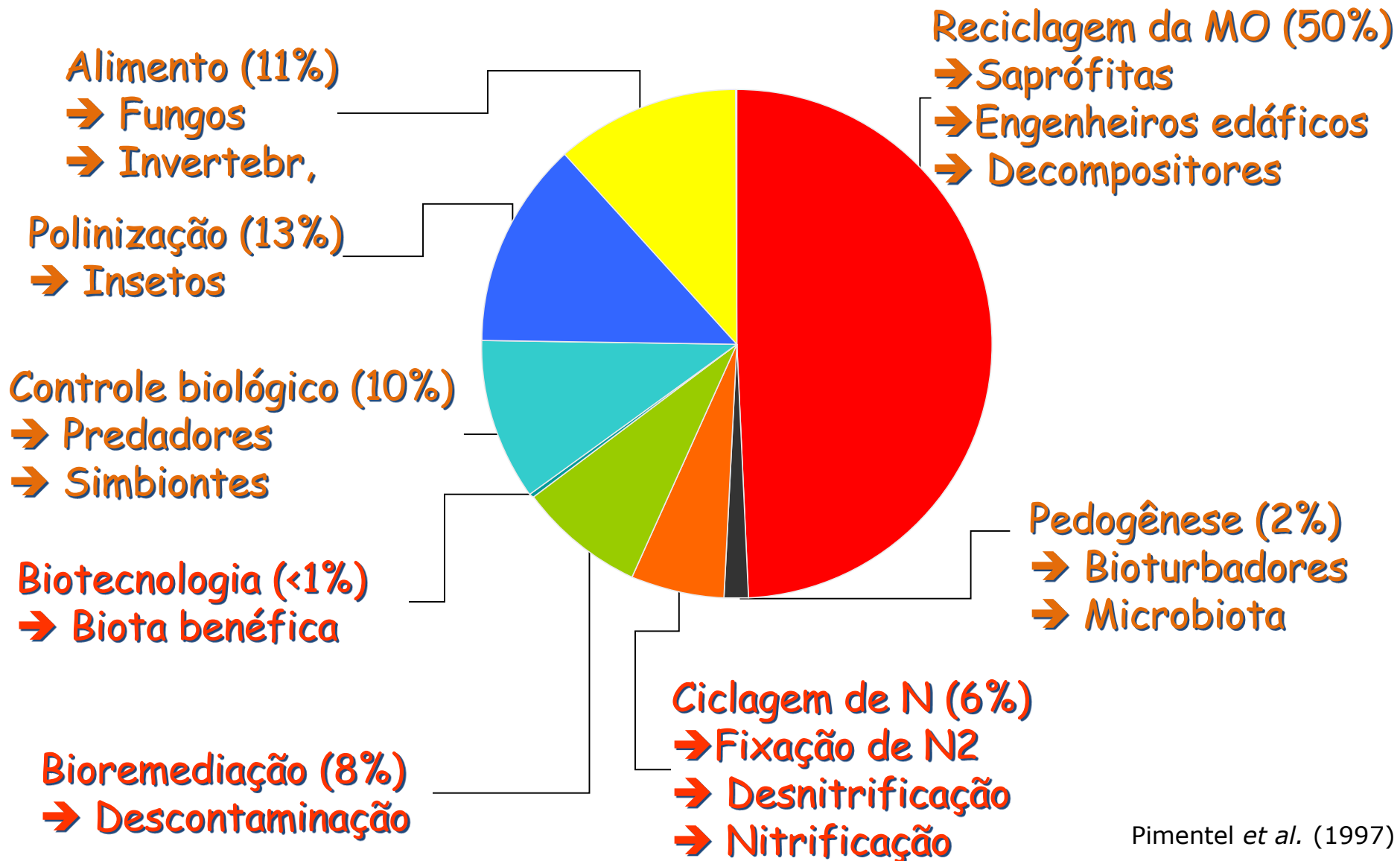


1/14/99

Utilidade farmacêutica

- Indígenas do México
 - Anti-desvios sexuais
 - Anti-concepcionais
- China (amplo conhecimento e uso)
 - Anti-concepcionais
 - Promoção da atividade do semen
 - Enzimas, etc.
 - Tratamento para 19 doenças humanas

Valor dos serviços ecossistêmicos > R\$3500 bilhões / ano



Mas como fazer, então, a valoração?

Associar a abundância de determinados grupos tróficos às suas funções, que são medidas através de indicadores:

- ✓ **Decomposição usando litter-bags de diferentes diam. malha**
- ✓ **Agregação usando método do GISQ (Velásquez, 2007)**
- ✓ **Aeração/infiltração (indiretamente) quantificando, porosidade, bioporos (por ex., perfil cultural)**
- ✓ **Fitofagia, medindo produtividade primária com câmaras de proteção**
- ✓ **Biocontrole, usando câmaras de isolamento**

Como calcular o valor do serviço?

- Custo evitado
 - Por ex., polinização, agrotóxicos, inoculação, controle biológico
- Custo de reposição
 - Por ex., água, nutrientes, solo
- Uso direto (valor no mercado)
 - Por ex., compra de fauna ou insetos para coleção, Carbono no mercado
- Disposição a pagar (valor de existência)

Reposição por ação da fauna no solo

Serviço ecossistêmico	Processo ecossistêmico ou parâmetro a ser medido	Método de cálculo do valor ¹
Água disponível	Proporção e arranjo das estruturas biogênicas, capacidade de campo	Indireto: Custo de reposição de água
Ciclagem de nutrientes	Decomposição em litter-bags e usando bait-lamina	Indireto: Custo de reposição para nutrientes
	Atividade enzimática, emissão de N ₂ O/desnitrificação/nitrificação, frações de matéria orgânica nos agregados	Indireto: Custo de reposição para nutrientes
Formação do solo	Produção de dejeções superficiais, arquitetura do solo, datação do solo, NIRS de dejeções	Indireto: Custo de reposição do solo

Custos evitados para controle de pragas ou inoculação

Serviço ecossistêmico	Processo ecossistêmico ou parâmetro a ser medido	Método de cálculo do valor ¹
Produtividade primária	DNA dos coprólitos, taxa de colonização das raízes	Indireto: Custo evitado para inoculação
	Bioensaios com estruturas biogênicas	Custo evitado e/ou de reposição
	Avaliação do "vigor" ou "saúde" das plantas associadas à maior presença/manchas de fauna	Indireto: Custo evitado para controle de pragas
	Fitofagia, biomassa vegetal associada à maior presença/manchas de fauna	Indireto: Custo evitado para controle de pragas

Serviço ecossistêmico	Processo ecossistêmico ou parâmetro a ser medido	Método de cálculo do valor ¹
Controle de erosão e enchentes	Produção de estruturas biogênicas superficiais	Indireto: Custo de reposição do solo, custo evitado em enchentes
	Morfologia do solo (proporção de agregados/poros biológicos), capacidade de campo, taxa de infiltração, condutividade hidráulica	Indireto: Custo evitado em enchentes ou para irrigação
Regulação do clima	Emissão de GEE das dejeções, ninhos, de áreas com maior presença/manchas de fauna	Indireto: Custo de reposição de N
	C presente nas estruturas/agregados biogênicos, NIRS de dejeções	Indireto: Valor de aquisição de C no mercado
Polinização	Determinação dos insetos e sua presença/atividade em plantas dependentes da polinização	Indireto: Custo evitado
Dispersão de sementes	Sementes associadas a estruturas biogênicas e domínios funcionais no solo	Indireto: Custo evitado

Serviço ecossistêmico	Processo ecossistêmico ou parâmetro a ser medido	Método de cálculo do valor ¹
Tratamento de resíduos	Avaliação de resíduos dos contaminantes no solo, avaliação da atividade microbiana e perfil funcional estimulados pela meso e macrofauna	Indireto: Custo evitado na limpeza da contaminação
Recreação	Uso como isca para pesca, para fotografia ou coleções	Direto: Custo de aquisição no mercado; Indireto: Disposição de pagar
Educação	Uso em programas de educação ambiental e de MIP, uso como bioindicadores da qualidade do solo	Direto: Custo no mercado; Indireto: Disposição de pagar

Alguns desafios para o futuro

- Otimização de técnicas “ômicas” para avaliar função/serviços da fauna edáfica
- Quantificação adequada das populações
- Determinação de espécies “chave” para funcionamento
- Avaliação e conservação da biodiversidade
- Avaliação econômica
- Conscientização...
- Adoção de bioindicadores (mainstreaming)

Conscientização...

EUROPEAN ATLAS OF SOIL BIODIVERSITY

Em diferentes níveis
e públicos alvo...



GLOBAL SOIL BIODIVERSITY ATLAS



Giant Gippsland worm museum
Grantville Australia



Under our feet exhibition
Senckenberg Museum



Underground Adventure
Field Museum, Chicago



Educando as
futuras
gerações...



Embrapa

Florestas

Obrigado pela atenção!
george.brown@embrapa.br
minhocassu@gmail.com

Sophia Brown com Andiorrhinus duseni

BRASIL
Pará

COLOMBIA
Caqueta

3 landscape windows

3 landscape windows

Palmares

Maçaran
duba

Pacaja

Traditio
nal

Silvo
pastoral

Agrosilvo
pastoral

3 sub janelas

PL1

PL2

PL3

M1

M2

M3

Pa1

Pa2

Pa3

T1

T2

T3

S1

S2

S3

A1

A2

A3

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

153 farms

YR I
306

153 farms

SOCIOECO ↔ LANDSCAPE

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

↓
3

27 farms

BIODIVERSITY

YR II
54

27 farms

Ag. Production
Soil ecosystem services

Amazonian landscapes (AMAZ project)

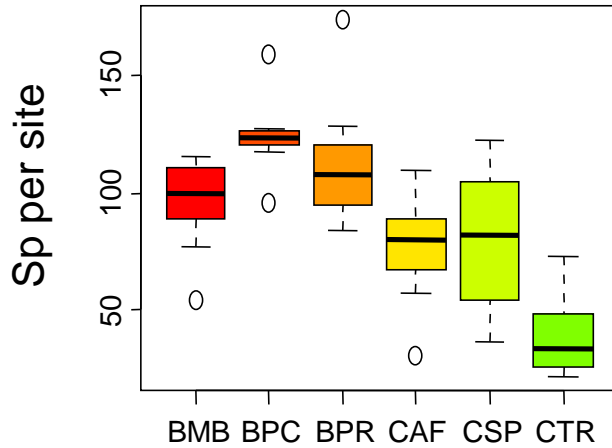
Richness as a function of deforestation age

9 farms per site, 54 farms total

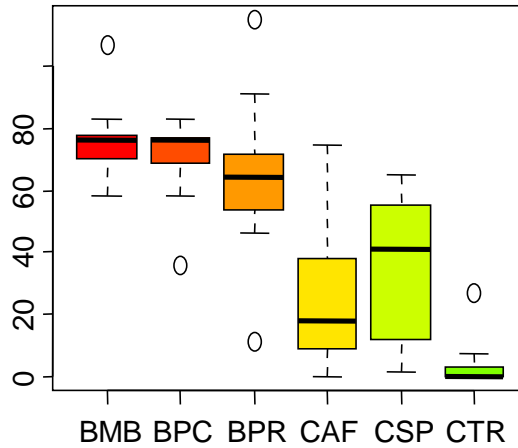
TIME



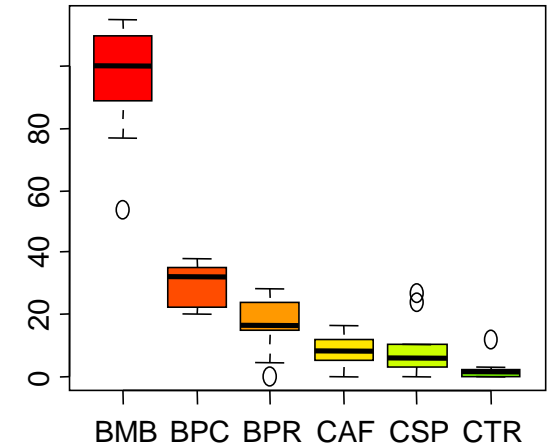
Plants (lower stratum)



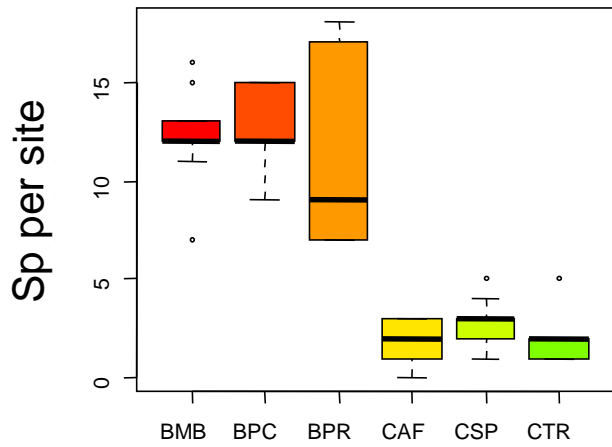
Plants (medium stratum)



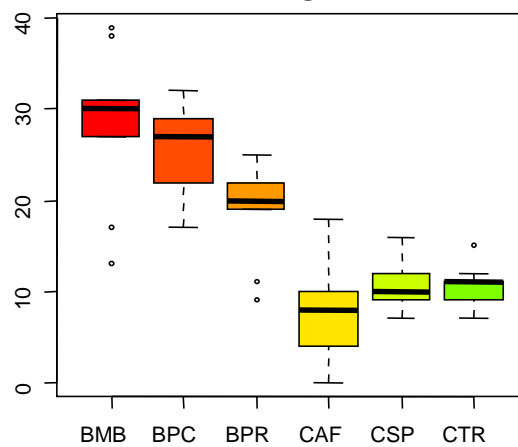
Plants (upper stratum)



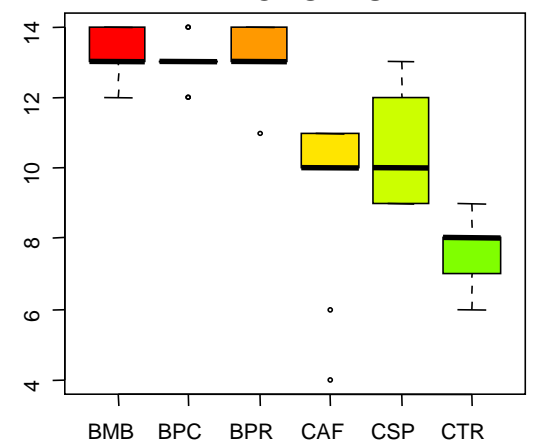
EARTHWORMS



ANTS



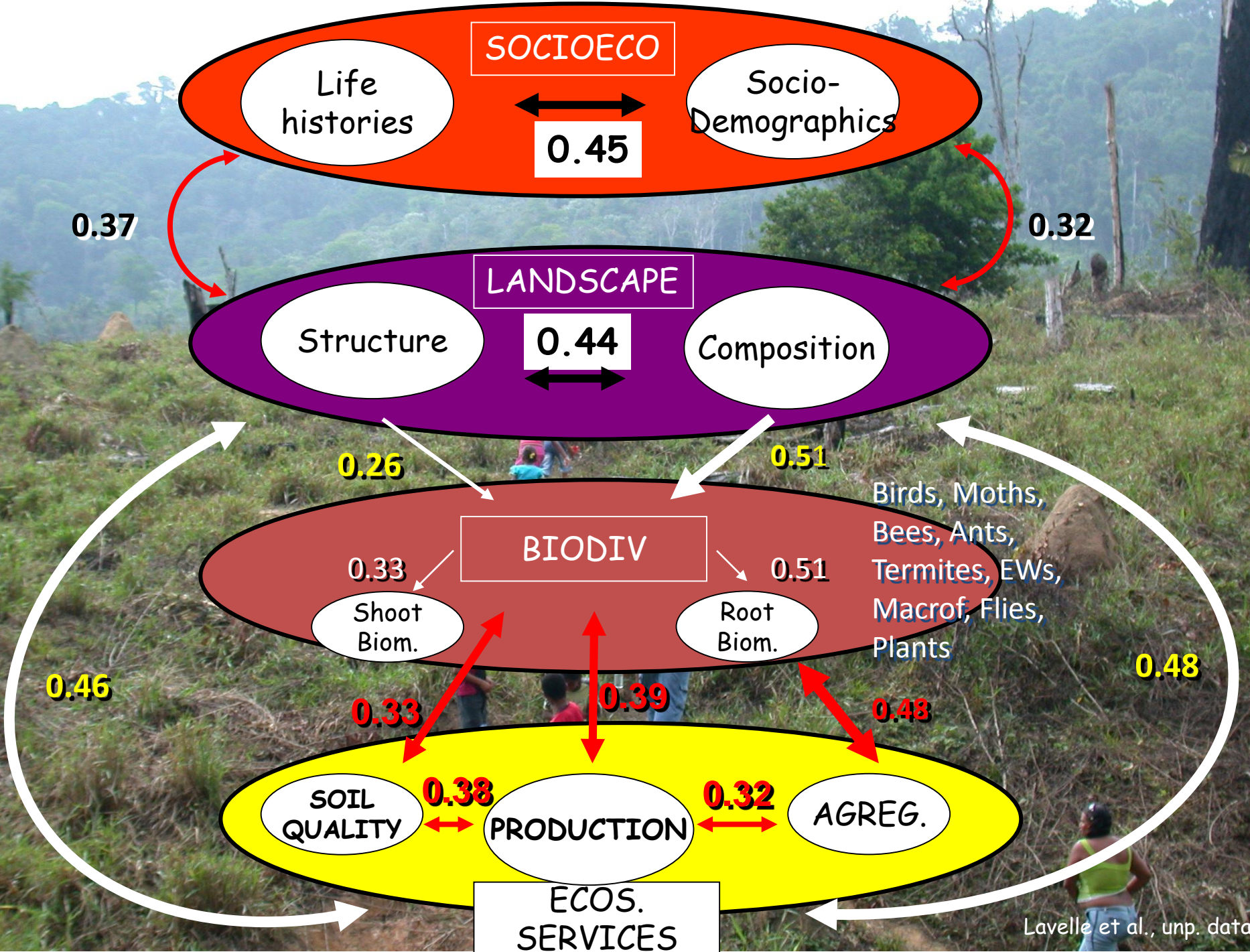
MACROFAUNA



Landscape windows

Landscape windows

Landscape windows

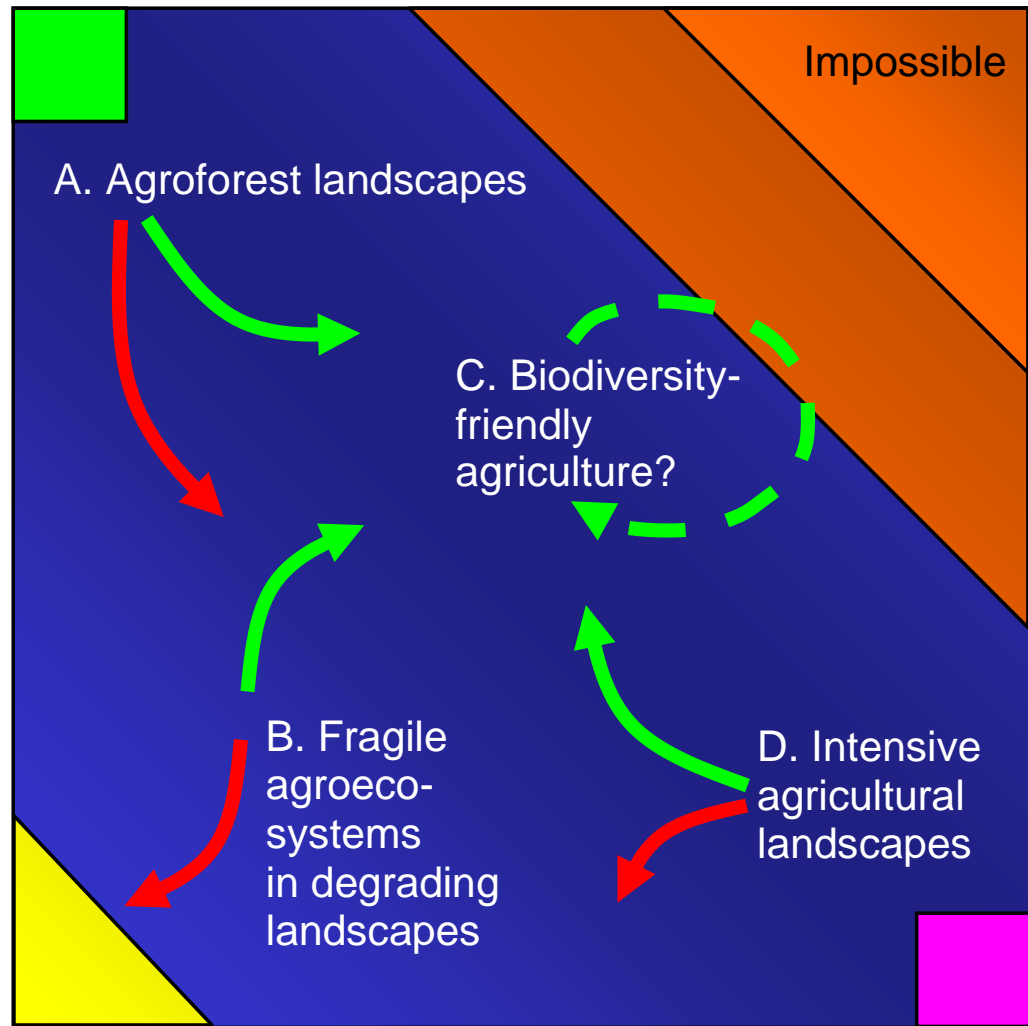


'Natural' point
of reference

High

Biodiversity

Low



Low

High

Agricultural productivity: goods

'Potential
production'
as reference

← Pathway to be avoided

→ Socially desirable pathway



Mudanças climáticas

Contaminação atmosférica

Homogenização da paisagem

Urbanização

Perda de biodiversidade

Espécies exóticas

Uso intensivo

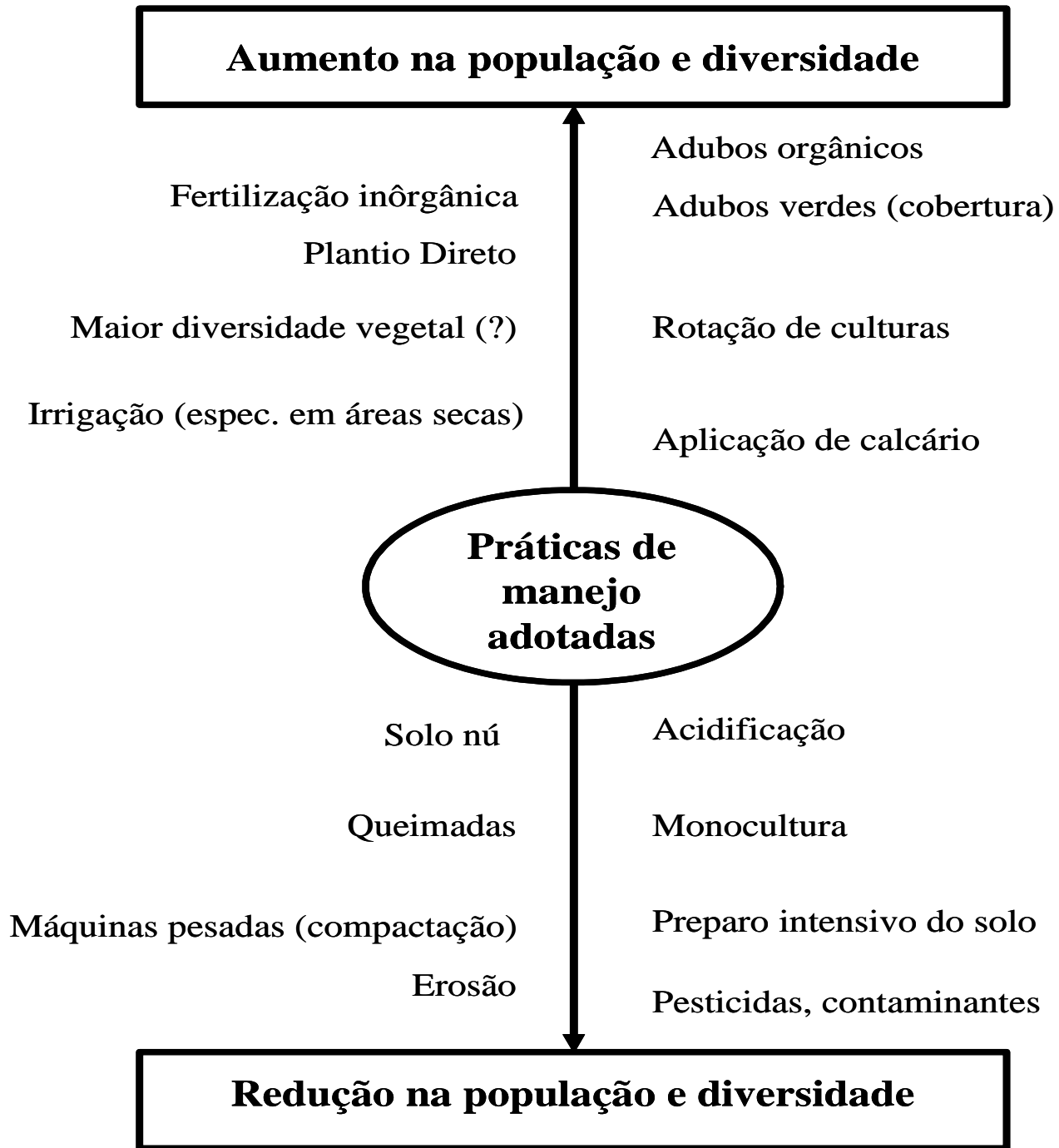
Poluição

Fogo

Erosão do solo

Degradação

- Ameaças à biodiversidade no solo



Dificuldades com o estudo da biodiversidade edáfica

→ Dificuldade amostral

→ Alta variabilidade espacial e temporal

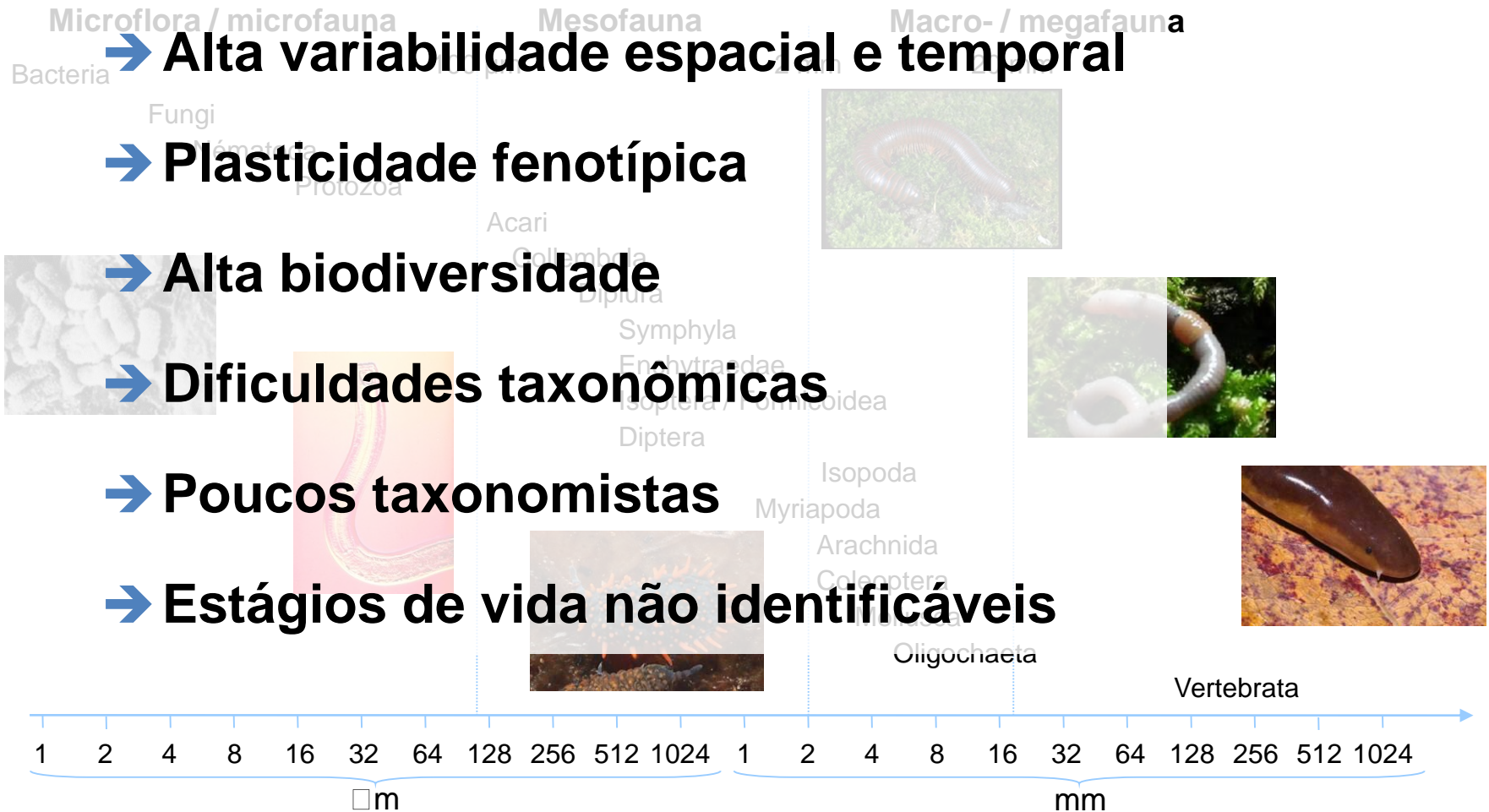
→ Plasticidade fenotípica

→ Alta biodiversidade

→ Dificuldades taxonômicas

→ Poucos taxonomistas

→ Estágios de vida não identificáveis





- Manejo sustentável e conservação da biodiversidade no solo

Biodiversidade e serviços ambientais: O projeto Serviambi

Premissa 1.

Abundância, distribuição, dinâmica e variação funcional entre os componentes da biodiversidade dos ecossistemas regulam a magnitude e a variabilidade de processos ecossistêmicos, como a produção ou decomposição.

Premissa 2.

Serviços ambientais são obtidos apenas se os ecossistemas possuírem a biodiversidade que garanta a realização dos processos funcionais.

Táxon	Espécies no Brasil
• Minhocas:	300
• Cupins:	300
• Formigas:	2 750
• Besouros:	30 000
• Caracóis:	670
• Ácaros:	1 500
• Opiliões:	950
• Aranhas:	2 600
• Mirápodos:	400
• Tatuzinhos:	140
• Colêmbolos:	200
• Protozoários:	4 000
• Nematóides:	2 900

Estima-se que
> 250 000 spp. de
invertebrados
habitem os solos
brasileiros!



Food and Agriculture Organization
of the United Nations

O SOLO ESTÁ REPLETO DE VIDA

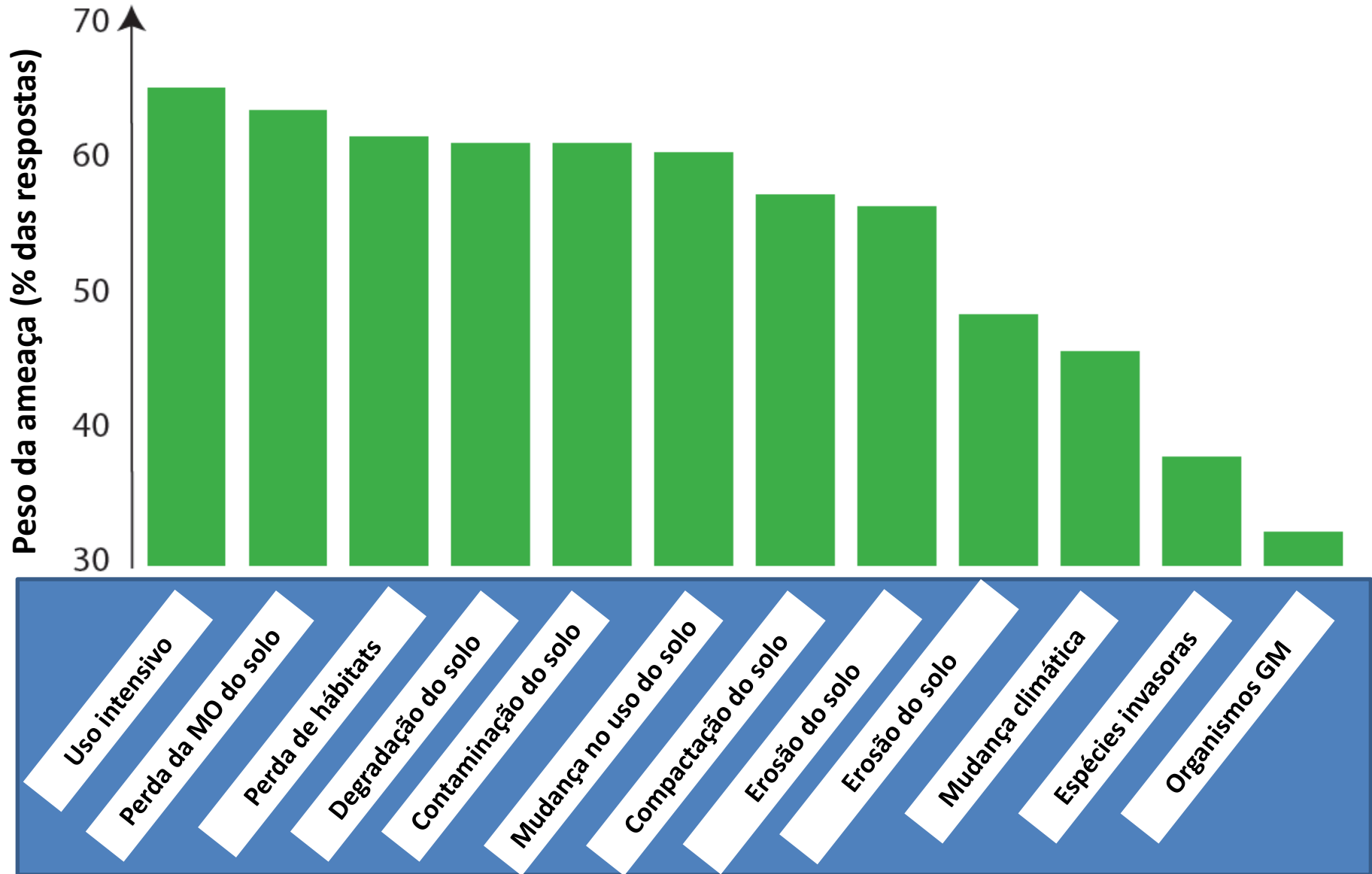


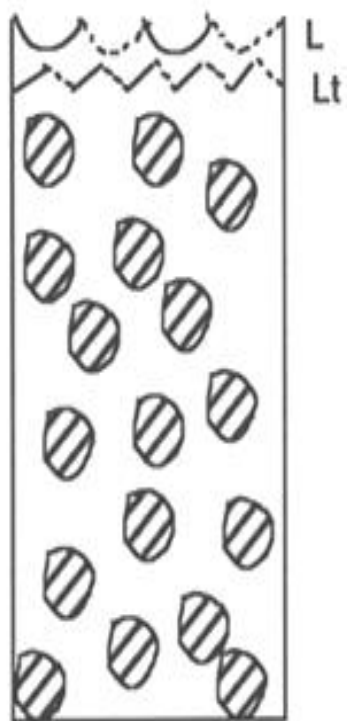
O SOLO
ALOJA UM
QUARTO
DA
BIODIVERSIDADE
DO NOSSO PLANETA



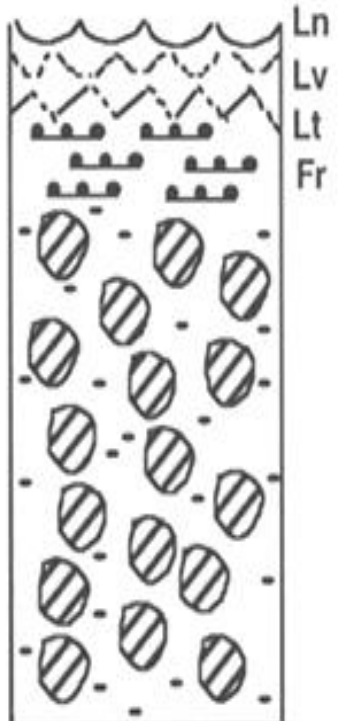
Dia do Solo
5 Dezembro

Ameaças à biodiversidade no solo

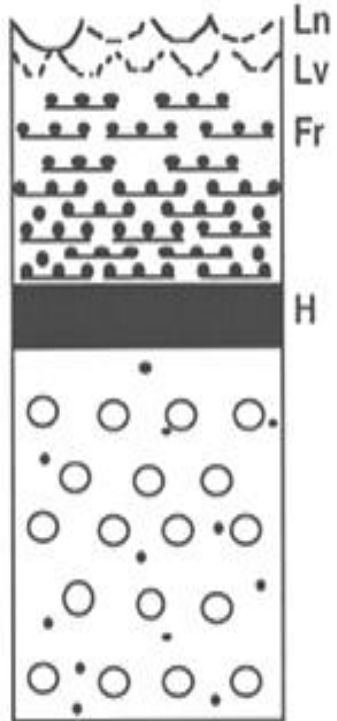




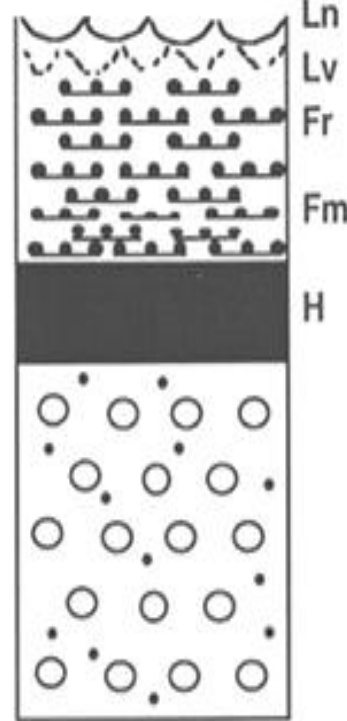
EUTROPHIC MULL L



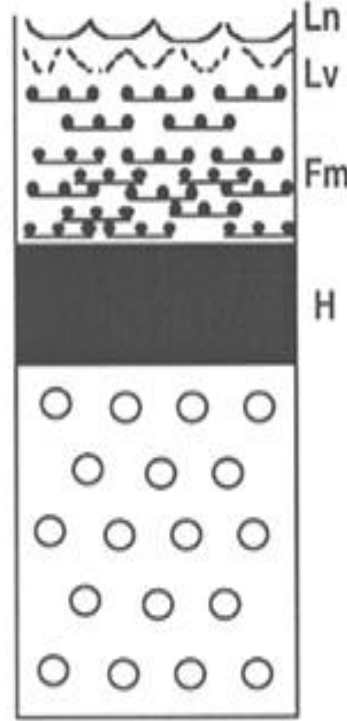
ACID MULL L



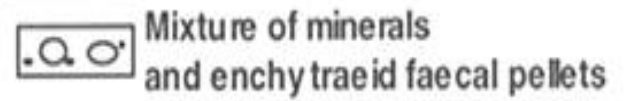
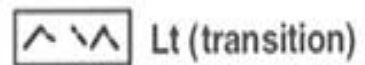
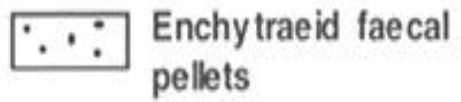
MODE R



DYSMODE R



MOR



Principais usos do solo



ATIVIDADES FÍSICAS DA FAUNA DO SOLO

POROSIDADE

- Aeração
- Infiltração
- Densidade aparente (penetração)
- Condutividade hidráulica
- Capacidade de campo
- Drenagem

AGREGAÇÃO

- Estabilidade
- Sedimentação
- Erosão
- Agregação
- Formação de crostas

PEDOGÊNESE

- Desenvolvimento do perfil
- Textura
- Montículos
- "Stone Lines"
- Remoção da MO superficial
- Solos "mull"
- Vermisolos

DESINTEGRAÇÃO

- Tamanho das partículas
- Decomposição
- Humificação
- Atividade da microbiota
- Temperatura do solo
- Ciclagem da MO e nutrientes

