



Universidade de São Paulo - USP
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Pós - Graduação em Solos e Nutrição de Plantas
Disciplina: Matéria Orgânica do Solo



Persistence of soil organic matter as an ecosystem property

Lucas Altarugio; Matheus Araújo; Matheus Westphalen;
Murilo Nunes.



Persistence of soil organic matter as an ecosystem property

Michael W. I. Schmidt^{1*}, Margaret S. Torn^{2,3*}, Samuel Abiven¹, Thorsten Dittmar^{4,5}, Georg Guggenberger⁶, Ivan A. Janssens⁷, Markus Kleber⁸, Ingrid Kögel-Knabner⁹, Johannes Lehmann¹⁰, David A. C. Manning¹¹, Paolo Nannipieri¹², Daniel P. Rasse¹³, Steve Weiner¹⁴ & Susan E. Trumbore¹⁵

Globally, soil organic matter (SOM) contains more than three times as much carbon as either the atmosphere or terrestrial vegetation. Yet it remains largely unknown why some SOM persists for millennia whereas other SOM decomposes readily—and this limits our ability to predict how soils will respond to climate change. Recent analytical and experimental advances have demonstrated that molecular structure alone does not control SOM stability: in fact, environmental and biological controls predominate. Here we propose ways to include this understanding in a new generation of experiments and soil carbon models, thereby improving predictions of the SOM response to global warming.

Sumário

- **Introdução;**
- **Insights recentes do ciclo da matéria orgânica;**
- **Implicação dos insights;**
- **Próximos passos ou caminho a seguir;**



- **Matéria orgânica do solo** **3** carbono da atmosfera ou vegetação.

- **Porque parte da MOS persiste milênios e outra parte se decompõem rapidamente?**
 **Limita previsão da resposta as mudanças climáticas.**
- **A estabilidade da MOS não pode ser compreendida **ANALISANDO SEPARADAMENTE AS MOLÉCULAS?****
 **Controle ambiental e biológico devem ser considerados.**
- **Geração de experimentos e modelos de carbono do solo para melhorar as previsões da resposta SOM ao aquecimento global**

O enigma: O que influencia a persistência da MOS?

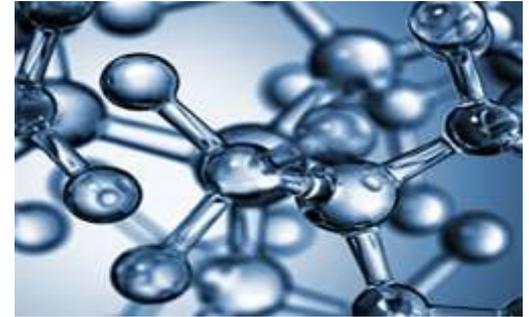


PROPRIEDADE MOLECULAR

Avanços na física, ciência de materiais,
genômica e computação



ECOSSITEMA



- **MULTIDISCIPLINARIEDADE** → Confusão de conceitos.
- **INTERAÇÕES** → Sólido / Líquido / Gasoso / Microbiologia.



QUALITATIVAS.

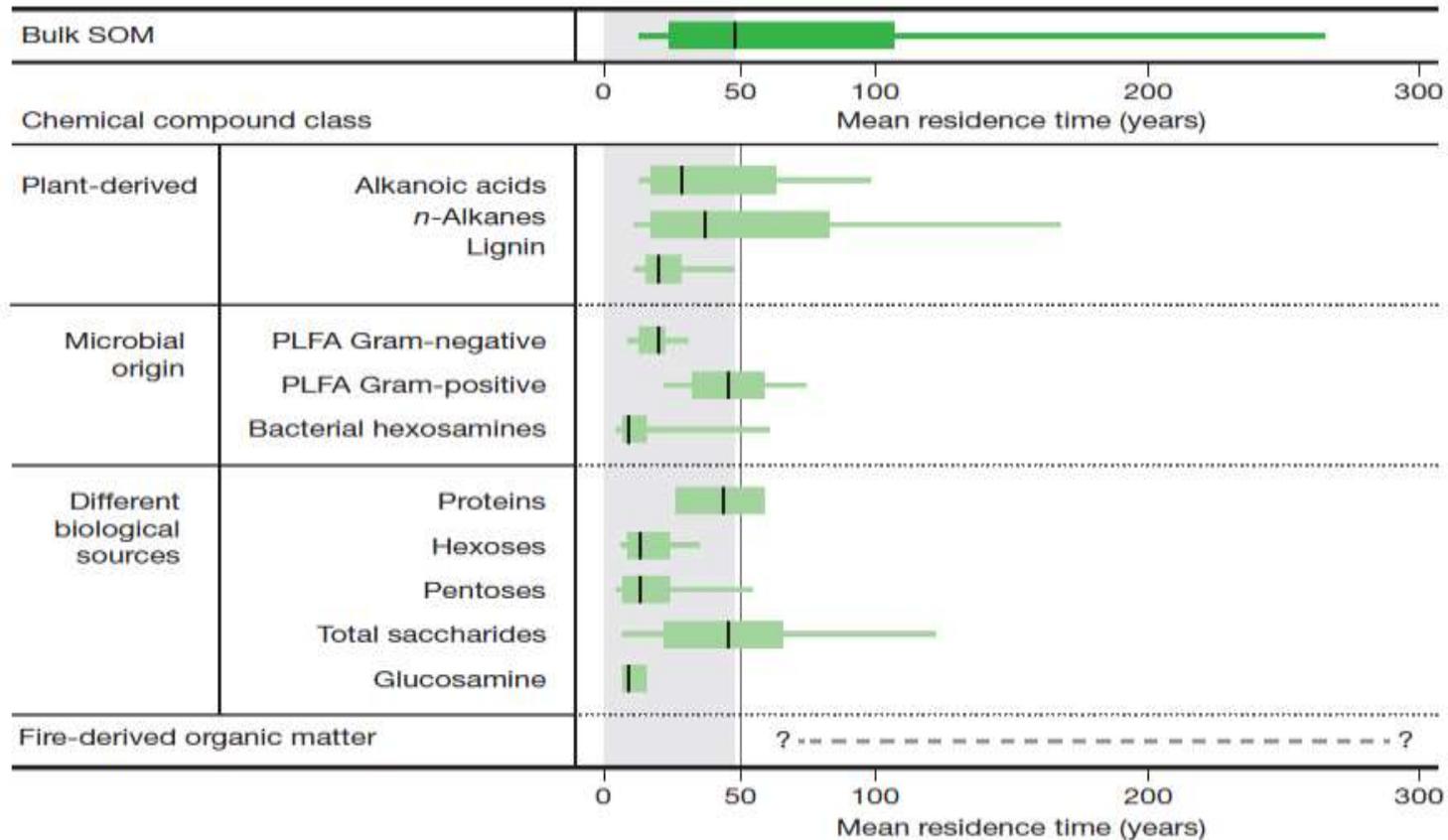


Figura 1. A estrutura molecular não controla a decomposição a longo prazo de matéria orgânica do solo (MOS).

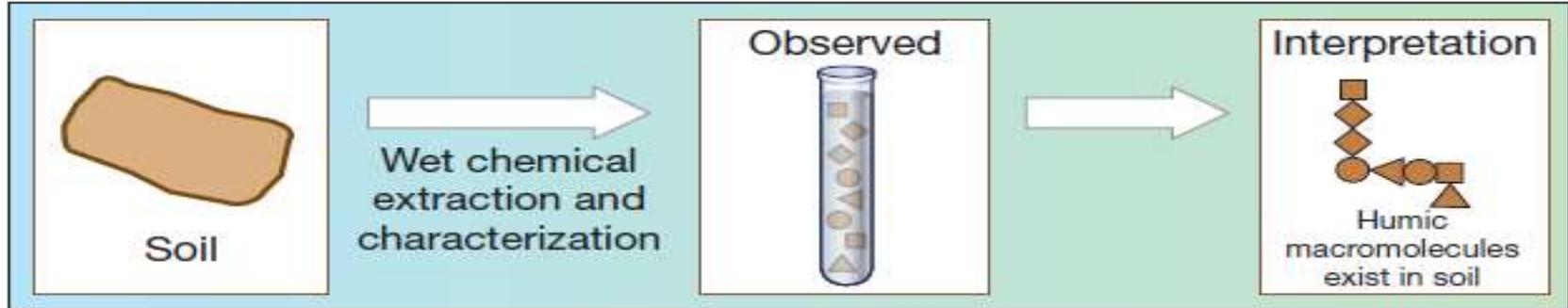
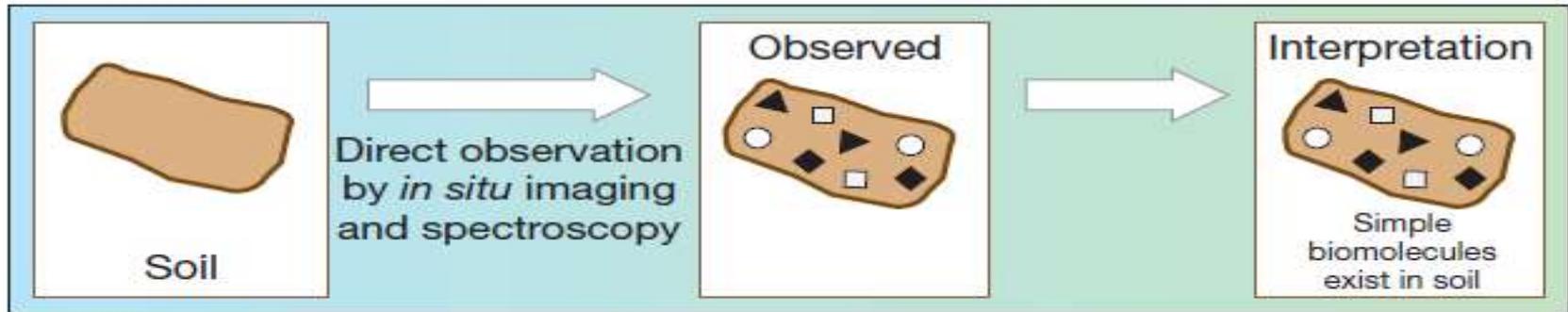
a Historical view**b** Emerging understanding

Figura 2. No solo, a existência de substâncias húmicas não foi verificada por medições diretas.

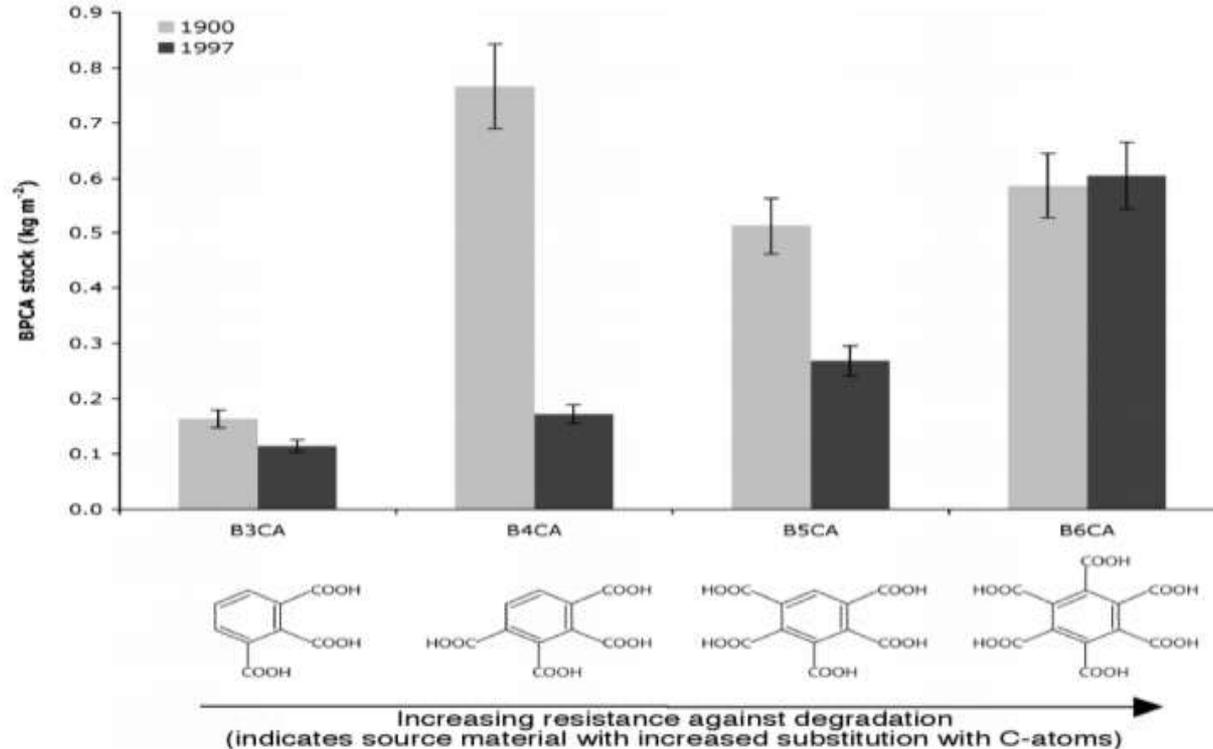


Fig. 4. Benzene polycarboxylic acid (BPCA) pattern of black carbon for whole soil profiles (1900 and 1997) as influenced by time for whole soil profiles of 1900 and 1997 under pristine steppe (B3CA= \sum hemimellitic, trimellitic, trimesic acids; B4CA= \sum pyromellitic, prehnitic, mellophanic acids; B5CA=benzene pentacarboxylic acid; B6CA=mellitic acid). Error bars show the standard deviation of replicate laboratory analyses ($n=2-3$ per soil sample).

- ***Desconexão Física***

**1% do volume
ocupado por
microrganismos.**

**Altamente
fragmentados em
diversos e
diferentes
habitats.**

**A desconexão física entre
os microrganismos e a
matéria orgânica é
provável que seja uma
das razões para a
persistência da MOS
profunda.**

- ***Desconexão Física***

Os processos pedológicos específicos operando em um determinado tipo de solo que influenciam a distribuição de organismos e substratos, precisam ser levados em consideração para entender e quantificar a dinâmica do carbono do subsolo e, portanto, sua vulnerabilidade à decomposição.

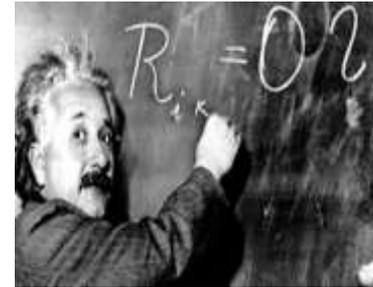
(Chabbi et al., 2009)

Tal estratificação é provavelmente devido à ocorrência de calor biológico, manchas ao longo de vias de fluxo preferenciais e / ou zonas de raiz. A diluição de carbono antigo por novos insumos de carbono pode ser acentuada pelo estímulo microbiano devido à entrada de material rico em energia.

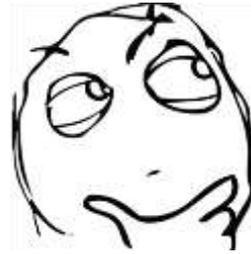
- ***Carbono no solo***

Há muito mais carbono no solo profundo e os processos subjacentes que inibem o seu turnover ainda são em grande parte desconhecidos. Apesar de suas baixas concentrações de carbono, os horizontes do subsolo contribuem para mais da metade dos estoques globais de carbono do solo.

Subsolo = Camada 0-30 cm



Matéria orgânica
dissolvida;
Produtos de raiz;
Partículas transportadas
da superfície.



Importância relativa de diferentes fontes não é conhecida.

Razões para turnover longos em subsolo.

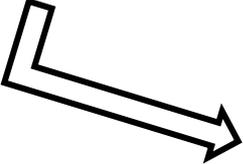
A maioria dos estudos relativos a esses fatores, no entanto, foi realizada em laboratório.

Estudos sugerem que a limitação de energia, ou o inverso - por exsudatos radiculares ou carbono orgânico dissolvido - é um fator importante no subsolo.



- ***Permafrost***

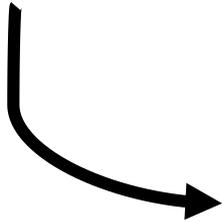
Grande teor de Carbono armazenado



Grande parte dessa MOS poderá ser vulnerável à rápida mineralização se for estabilizada principalmente por temperaturas congelantes.



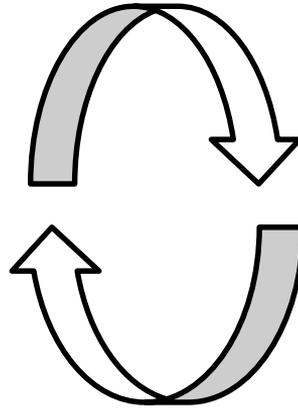
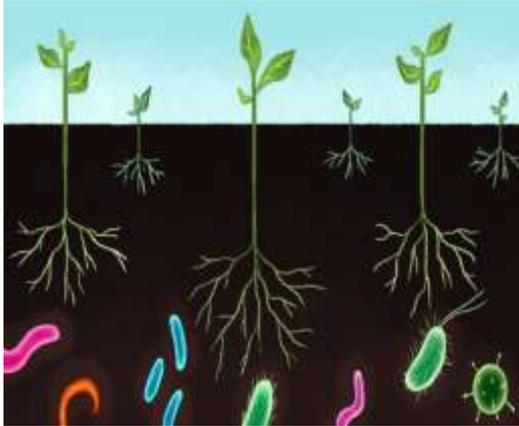
- ***Permafrost***



No entanto, a longo prazo, a formação de minerais reativos pedogênicos em solos com congelamentos antigos pode atuar na estabilização do MOS e o desenvolvimento da estrutura do solo pode levar à desconexão física entre matéria orgânica e decompositores.

(Striegl et al., 2005).

- ***Microrganismos do solo***

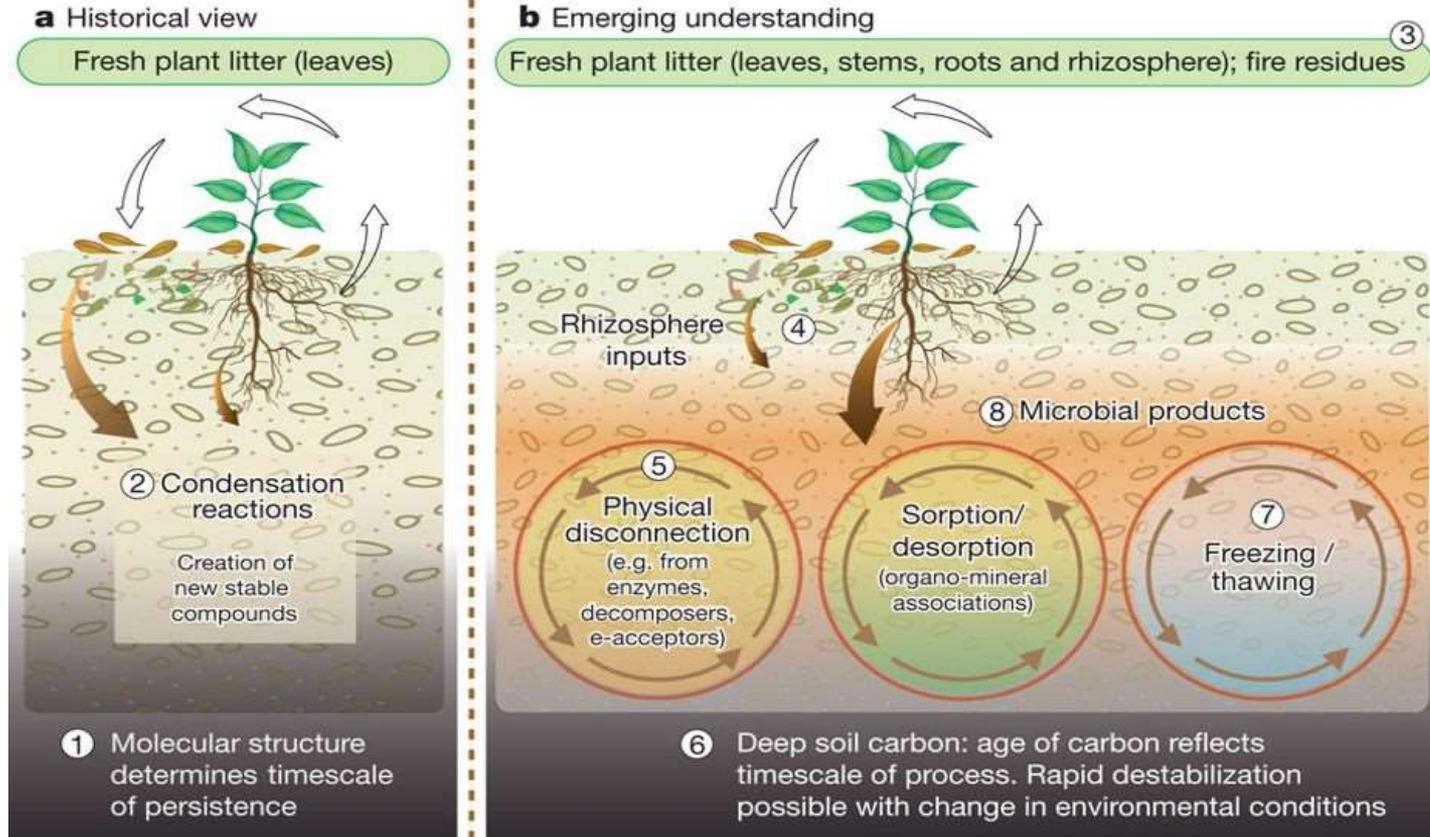


- Decomposição;
- Constituintes estruturais e químicos.

(Kögel-Knabner, 2002)

No entanto, permanece o desafio de sintetizar essa imensa quantidade de informações detalhadas e vinculá-las às taxas e rotas do processamento do MOS (MERING et al., 2007).

- Implicações desses fatores**



- ***Implicações desses fatores***

- Taxa de decaimento;
- Balanço nutricional;
- Estabilidade ou nível de recalcitrância.

Características ambientais quantificáveis que regem a estabilização:

- ✓ Solubilidade;
- ✓ Tamanho molecular;
- ✓ Funcionalização.

- ***Resposta do solo a mudança Climática***



Uso de modelos numéricos → respostas do solo á mudanças climáticas.

Modelos incluem

Gestão agrícola;
Biorremediação;
Pesquisa ambiental sobre a água.

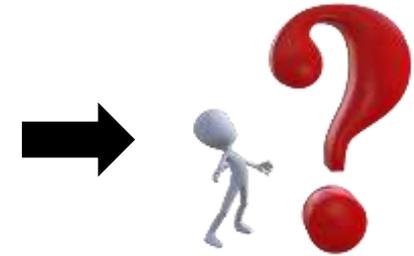
Incerteza nos modelos...

Escalas espaciais locais-regionais.

A longo prazo ou em escala global..?

- **Fito-engenharia**

Produzir tecidos vegetais ricos em compostos químicos resistentes à mineralização rápida, como lipídios vegetais e lignina, tem sido sugerida como um meio de aumentar o sequestro de carbono.



Aumentar a entrada de carbono nas raízes para os solos pode ser um caminho mais promissor...

Biochar

+ Fertilidade do solo.

Armazenar carbono.

Podem se degradar relativamente rápido.

O biocarvão provavelmente será uma parte útil das estratégias de mitigação de sequestro, mas é necessária uma maior compreensão da variação em suas taxas de decaimento.

Vulnerabilidade do solo á degradação

Natureza da perturbação.



Mecanismos de estabilização.

Mecanismos de desestabilização.

Uma melhor compreensão da desestabilização da MOS é necessária para aumentar os esforços para evitar a degradação do solo e acelerar a recuperação de solos degradados.

- **Caminho a seguir...**
- Os solos estão agora na "**linha de frente**" da mudança ambiental global.



Será necessário....

- (1) Aplicação de uma **nova geração de experimentos de campo** e ferramentas analíticas para estudar os processos que impulsionam a **estabilização e a desestabilização da MOS;**
- (2) Desenvolver **uma nova geração de modelos de biogeoquímica do solo** que representam os mecanismos que impulsionam a resposta do solo à mudança global;
- (3) Unir **forças e conectar as diferentes comunidades de pesquisa** que estão estudando, gerenciando e prevendo a ciclagem de MOS e a ecologia terrestre.

- **Uma nova geração de experimentos**

- Longa duração
- Explorar o perfil em grande profundidade
- Dar atenção às variações espaciais e temporais
- Melhor representação das características edáficas



Determinar os pontos chave na dinâmica da MOS

- **Novas técnicas de análise e equipamentos;**
- **Estudo do meio que rodeia os microrganismos do solo;**

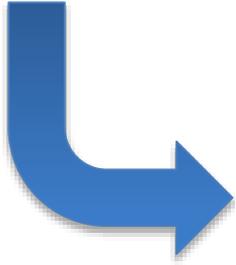


Como identificar isoladamente as estruturas moleculares provenientes do metabolismo dos seres vivos e do processo de decomposição e rastreá-las?



Base mais mecanicista para previsões.

- **As análises buscam cada vez mais detalhamento;**



Extenso banco de dados;

- **Lacuna: Análise do banco de dados de forma integrada permitindo estabelecer relações.**

- **Modelos de ecossistemas globais**
 - Baseados em relações empíricas com variáveis ambientais;
 - Insuficientes para previsões a longo prazo.

Table 1 | Representation of soil carbon in ecosystem models and recommendations for potential improvements

Insight	Properties of most published models	Recommendations
1. Molecular structure	Decay rate of all pools keyed to substrate (or texture in CENTURY-type models*) and modified by moisture and temperature as constant Q_{10} above 0 °C.	Model decay rate as function of substrate properties and positions in microenvironment, microbial activity, and soil conditions including pH, temperature and moisture. See 4, 5, 6, 8.
2. Humic substances	Have a cascade of increasing intrinsic recalcitrance due to decomposition and synthesis.	Replace the cascade with cycling of organic matter into and out of microbial biomass. See 1, 8.
3. Fire-derived carbon	Do not include fire-residues as inputs or SOM. Do not represent decay of analogous substrates.	Add input pathway for fire-derived carbon. Add aromatic compounds to SOM types.
4. Roots	Parameterize litter quality with leaf/needle chemistry. Have simplified root and dissolved organic carbon inputs.	Use separate characterizations for below-ground and above-ground inputs. See 6.
5. Physical heterogeneity	Lack physical processes, such as aggregation (some have tillage factor), spatial heterogeneity, or processes that would produce priming effect†.	Non-normal probability distributions, density-dependent terms for organic matter and microbial biomass. Parameters from 3D, fine-resolution models.
6. Soil depth	No change in processes or rate constants with depth of soil or carbon input. Site-level tuning required to reproduce long turnover times.	Representations of mineral associations, root and dissolved organic inputs, and physical disconnections. Explicit depth resolution for decomposition and transport.
7. Permafrost	Lack processes governing permafrost soil carbon cycling. Lack fully coupled methane biogeochemistry.	Add O ₂ limitation and freezing effects on CO ₂ and CH ₄ production. Develop soil columns to represent inundation, permafrost thaw and thermokarst.
8. Soil micro-organisms	Treat microbial biomass as pool of active carbon. Lack effects of microbial community or enzymes on rates and decomposition products.	Create and model microbial functional types, analogous to plant functional types. Introduce full soil nitrogen cycle coupled to carbon cycle.

- **1. Relações entre a decomposição e os fatores que regem a vida microbiana;**
- **2. Decomposição  Ambiente.**
- **3. Englobar a variabilidade espacial dos fatores determinantes na composição;**



Não há linearidade em relação a variação dos fatores.

- **Necessidade de junção de esforços da comunidade científica;**
 - Decomposição vs biota  Decomposição vs propriedades minerais.
 - Aspectos agronômicos  Questões ecológicas.
 - Ambientes aquáticos  Ambientes terrestres.
- **O avanço deve englobar a junção de muitas frentes distintas.**

Referências

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 49, 2011.



A close-up photograph of soil, showing a mix of light brown and reddish-brown particles. A dark blue horizontal bar with a white border is centered across the image, containing the text 'OBRIGADO!!' in white, bold, italicized font.

OBRIGADO!!