

17.3945

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**



**EMBRAPA**

**A Ciência do Solo como Uma das Chaves para Entender o Ambiente Global**

**Daniel Vidal Pérez**

**ORIENTADORES:**

**Antonio Paulo Faria**

**Josafá Carlos de Siqueira**

**Monografia submetida ao  
Curso de Pós-Graduação *Latu-  
Sensu*, em nível de  
Especialização, em ANÁLISE E  
AVALIAÇÃO AMBIENTAL.**

**Rio de Janeiro**

**1997**

**Dedico este Trabalho a Simone**

## **AGRADECIMENTOS**

**Aos colegas Paulo Magalhães, da Embrapa-CTAA, e William de Castro, da Embrapa-CNPS, pela paciência típica de quem trabalha com informática;**

**As bibliotecárias Penha Delaia, Léa Marques e Célia Fernandez pela paciência e ajuda com a pesquisa e busca bibliográfica;**

**Aos colegas Paulão e Rodrigo da xerox pela paciência com minhas montagens;**

**Aos meus colegas de curso pelo incentivo durante toda a jornada;**

**Ao mestre Loureiro.**

## ÍNDICE GERAL

	<b>Página</b>
1. INTRODUÇÃO	01
2. MATERIAL E MÉTODOS	02
3. HISTÓRICO	03
3.1 - Ciência do Solo no Mundo	03
3.2 - Ciência do Solo no Brasil	05
4. SOLOS E A BIODIVERSIDADE	06
4.1 - As Propriedades do Solo Como Consequência da Biodiversidade	07
4.1.1 - Ciclos Biogeoquímicos	08
4.1.2 - Heterogeneidade Espaço-Temporal	10
4.2 - A Biodiversidade como Consequência das Propriedades do Solo	13
4.2.1 - Aspectos Estruturais	13
4.2.2 - Água do Solo	14
4.2.3 - Atmosfera do Solo	15
4.2.4 - Potencial Redox	16
4.2.5 - pH do Solo	16
4.2.6 - Temperatura do solo	17
4.3 - Alguns Exemplos Brasileiros da Interação Solo e Biodiversidade	18
4.3.1 - Amazônia	18
4.3.1.1 - Ecossistemas de Terra Firme	18
4.3.1.2 - Ecossistemas de Várzea	19
4.3.2 - Cerrado	19
4.3.3 - Mata Atlântica	20
4.3.4 - Caatinga	21
4.3.5 - Biomas Enclaves	21
5. SOLOS E MUDANÇAS GLOBAIS	22
5.1 - Introdução	22
5.2 - “Pools” Globais de Carbono e Fluxos	23
5.2.1 - Balanço Global de Carbono e os Solos	24
5.2.2 - Processos que Ocorrem no Solo e que Afetam o Balanço Global de Carbono	26
5.2.3 - Mudanças no “Pool” de Carbono Orgânico Terrestre pelo Uso do Solo	27
5.2.4 - Alguns Exemplos Brasileiros	28
5.3 - Trocas de Óxidos de Nitrogênio Gasoso entre a Biosfera e a Atmosfera	29
5.3.1 - “Pools” Globais de NO <sub>x</sub> e N <sub>2</sub> O	29

5.3.2 - Produção e Consumo de $\text{NO}_x$ e $\text{N}_2\text{O}$ no Solo	30
5.3.2.1 - Nitrificação	30
5.3.2.2 - Denitrificação	31
5.3.3 - Controle Ambiental das Trocas de $\text{NO}_x$ e $\text{N}_2\text{O}$ do Solo	31
5.3.3.1 - Temperatura do Solo	31
5.3.3.2 - Disponibilidade de Nitrogênio (N) do Solo	32
5.3.3.3 - Teor de Água no Solo	32
<b>6. QUALIDADE E SAÚDE DO SOLO</b>	<b>32</b>
6.1 - O Conceito de Qualidade e Saúde do Solo	33
6.2 - Qualidade do Solo e Saúde Humana	33
6.3 - Avaliação da Qualidade do Solo	34
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>35</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>35</b>

## RESUMO

O solo é um recurso natural não renovável na escala humana e que contribui decisivamente para a manutenção da vida e para o equilíbrio da Biosfera. Na história humana, seu mal uso foi um dos grandes responsáveis pelo declínio de grandes civilizações.

O estudo do solo tem, nas últimas décadas, passado por profundas modificações, sendo, atualmente, abordado holisticamente. Isto evidencia sua importância estrutural e como componente biótico dos ecossistemas terrestres, sendo essencial para a funcionalidade e manutenção de processos vitais à produtividade primária e à sustentabilidade dos ecossistemas naturais.

Os processos de mudanças globais induzidas pela atividade humana, através do aumento das concentrações de certos gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), são uma ameaça ao homem, não só por criarem um buraco na camada de ozônio, o que aumenta a exposição do planeta à radiação UV, mas também pelo aquecimento global, o que influencia na distribuição de plantas e animais, na mudança do nível do mar e, conseqüentemente, no alagamento de áreas costeiras.

Nesse contexto, a filosofia de estudos na Pedologia está num momento de transição, em que novos conceitos, como “qualidade de solo” e “saúde de solo”, têm se destacado na busca da ciência ambiental por sistemas sustentados.

## SUMMARY

Soil is a non-renewable natural resource that contributes to the maintenance of life and the equilibrium of the biosphere.

Soil science has changed in the last decades becoming more holistic. It shows its importance as a biotic component of terrestrial ecosystems. It is essential for the functioning and maintenance of vital processes related to primary productivity and ecological sustainability.

The elevation in concentration of greenhouse gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), which are due to human activity, has created a threat to mankind. The processes of global change include not only the ozone hole, which exposes the planet to UV radiation, but also global warming, which influences the distribution of plants and animals, the alteration of sea level and, consequently, the submersion of coastal areas.

In this context, recent studies in soil science contain a sharp transition in philosophy, where new concepts, like “soil quality” and “soil health”, have been developed in the natural sciences in the search for a sustainable environment.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Hillel (1994) a associação atemporal entre a humanidade com a Natureza pode ser exemplificada pelos nomes do primeiro casal que existiu no mundo: Adão, derivado do hebraico “adama” significa solo e Eva significa “vivo”. Desta forma, juntos, Adão e Eva significam “Solo e Vida”.

Através da história do mundo, pode se observar uma sucessão de ascensões e quedas de várias raças. Normalmente, os historiadores enfatizam a dependência desse processo da conjuntura política, social e econômica da época. Contudo, muitos pesquisadores, nas últimas décadas, têm apresentado um enfoque mais ecológico em suas interpretações. Em sua concepção, a essência da história está na forma pela qual o homem adaptou sua vida ao ambiente. Desta maneira, o futuro de uma civilização estaria relacionado ao tipo de manejo que ela daria aos recursos naturais, principalmente água e solo (Whitney, 1925 e Perek, 1989, citados por Coleman & Crossley Jr., 1996; Garcia, 1992). Um grande exemplo disso se encontra, segundo Lester Brown (citado por Garcia, 1992) no calapso da civilização Maia no climax do seu desenvolvimento agrícola, cultural e arquitetônico. Ele comenta os estudos realizados pelas Universidades de Chicago e da Florida, os quais indicaram que a erosão do solo, gradualmente acelerada pelas pressões ambientais (representadas pelo crescimento populacional, destruição da floresta e agricultura intensiva) foram os responsáveis por esse declínio. Coleman & Crossley Jr. (1996) e Hillel (1994) citam, ainda, casos similares ocorridos a outras civilizações do passado, tais como a Mesopotâmia e a Suméria.

Segundo Doran & Parkin (1994), o ser humano está entrando o século 21 com grande atenção para sua capacidade tecnológica de influenciar o ambiente global. A preocupação crescente por um desenvolvimento sustentável pode ser refletido pela participação de chefes de Estado e delegados de 178 países na ECO-92 no Rio de Janeiro.

O solo, um dos principais recursos naturais, funciona como um tampão para as mudanças ambientais causadas pelo uso dos recursos naturais pelo homem (Singer & Warkentin, 1996). Porém, desde 1980, uma degradação severa da capacidade produtiva do solo tem ocorrido em mais de 10% das



terras vegetadas como resultado da erosão, poluição atmosférica, cultivo, super-pastoreio, salinização e desertificação. O manejo inadequado do solo também vem prejudicando a qualidade da água em várias partes do mundo. A presente ameaça que representam as mudanças globais do clima e a diminuição da camada de ozônio, em função dos níveis elevados de gases na atmosfera e da alteração dos ciclos hidrológicos, demanda um melhor conhecimento do manejo da terra sobre os processos do solo. No entanto, a ciência no século 19 e 20 separou o mundo em entidades definidas e precisas. Nesse processo, ela também classificou e separou cientistas em categorias distintas: química, física, biologia, e etc. Estas categorias, por sua vez, também se dividiram em seus próprios nichos com seus próprios jargões e meios de publicação diferentes. Ora, os sistemas naturais não podem ser entendidos por essa visão reducionista da ciência. Não se pode estudar processos individuais em ambientes controlados para se obter modelos matemáticos de cada compartimento e acreditar que, unindo-os, poder-se-á caracterizar todo um sistema natural. Como as relações e interações na natureza são complexas e já que o ser humano é, normalmente, limitado em sua percepção e compreensão, a pesquisa em meio ambiente necessita de trabalhos em equipe (Fyfe, 1994).

O objetivo do presente estudo é, portanto, o de abordar alguns aspectos, considerados fundamentais pelo autor, da ciência do solo que têm contribuído mais destacadamente para o desenvolvimento dos estudos holísticos em meio-ambiente nos últimos anos. Ênfase será dado na relação do solo com a biodiversidade, com as mudanças globais e com a conservação dos recursos naturais. Considerando que a ciência do solo é muito recente, poucos mais de 200 anos, será apresentado, também, um breve histórico das suas origens no mundo e no Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho consistiu, inicialmente, de uma análise e seleção criteriosa de material bibliográfico selecionado a partir do tema pretendido. Para isso, foram pesquisadas as bases de dados bibliográficos TROPAG, CAB, SOIL-CD e CURRENT CONTENTS no período de 1975 até 1997.

A partir do momento em que o material foi reunido, procedeu-se a análise e interpretação das informações a fim de desenvolver os diversos itens da monografia em questão.

### 3. HISTÓRICO

#### 3.1 - Ciência do Solo no Mundo

O desenvolvimento dos estudos a respeito de solo pode ser entendido como um processo composto de dois estágios. O primeiro período, de base empírica e pautado em evidências arqueológicas, sugere que, desde o início da agricultura, o homem aprendeu que terras muito encharcadas, arenosas ou endurecidas eram improdutivas. Esse aprendizado talvez tenha surgido pelo processo de tentativas, ou seja, os solos improdutivos eram abandonados quando se encontravam outros mais propícios à lavoura (Fitzpatrick, 1980).

Historicamente, um maior interesse pelo tema solo ocorreu há 6.500 anos (a.c.), quando as terras da China foram subdivididas em nove classes de acordo com a produtividade, para que o tamanho da propriedade e o valor do seu imposto territorial fossem baseados na capacidade produtiva. Contudo, os documentos que contêm maior discussão a respeito da importância dos solos datam de 2.400 anos atrás e referem-se aos trabalhos de Aristóteles e, principalmente, de seu discípulo Theofastes, considerado o fundador da botânica, que continham uma série de observações empíricas sobre algumas características do solo relacionadas com o desenvolvimento das plantas (Fitzpatrick, 1980; Lepsch, 1993). Entre os antigos romanos, vários escritores deixaram documentos que mencionam a classificação das terras e descrevem meios para se obterem melhores colheitas. Destes, podem se ressaltar os escritores Catão, o “Velho”, que há 2.100 anos escreveu o tratado “Da Agricultura”, uma coleção de indicações úteis à exploração de pequenas propriedades agrícolas, e Columela, que há 2.000 anos, em sua obra “De Re Rustica” faz várias menções ao conceito de solo (Lepsch, 1993).

O segundo período é relativamente recente, tendo se desenvolvido somente nos últimos dois séculos. Essa fase tem sido marcada pela sua base experimental e na aplicação do método científico.

A Pedologia (ciência que estuda o solo) só se consolidou como ciência a partir de 1883, quando o pesquisador russo Dokuchaev percebeu que o solo era, na verdade, um corpo natural e dinâmico, fruto de entidades diferenciadas e organizadas e não um mero amontoado de partículas minerais e com matéria orgânica na superfície. Um dos grande méritos de Dokuchaev foi o de ter revolucionado a pesquisa de solo ao estudá-lo em separado, ou seja, como um fenômeno natural, e não como um dos fatores relacionados a problemas de nutrição das plantas. Sibirtzev e Glinka, outros dois pesquisadores russos, foram os responsáveis, respectivamente, pelo desenvolvimento/sustentação das idéias de Dokuchaev e pela expansão de suas idéias para o Ocidente (Moniz, 1972; Fitzpatrick, 1980 e Lepsch, 1993),

A Escola Americana é uma das que mais influencia os estudos de solo no mundo. Segundo Franzmeier (1996), foi Hilgard, entre 1860 e o início do século 20, quem enunciou ou inferiu a maioria das idéias sobre solos e sua formação no Ocidente, similar ao que os russos fizeram. Coffey, em 1912, foi o primeiro a apresentar uma argumentação clara, nos Estados Unidos, reconhecendo o solo como uma entidade natural e distinta. Contudo, coube a Marbut, na década de 20, apresentar um modelo de solo, que ele atribuiu à escola russa, que realmente causou impacto na América. Hans Jenny, em seu livro “Factors of Soil Formation” de 1941, com base nas idéias sobre gênese de solo apresentadas de modo difuso, à época, apresentou, pela primeira vez, uma equação para expressar matematicamente a relação entre as propriedades e variáveis do solo:

$$S = f ( Cl, O, R, M.O., T )$$

Desta forma, entende-se que qualquer propriedade do solo (S) é função do clima (Cl), dos organismos vivos (O), do relevo ( R), do material de origem (M.O.) e do tempo (T).

Por fim, vale enfatizar o trabalho do Dr. Charles E. Kellog pela promoção do desenvolvimento da “Soil Taxonomy” (taxonomia de solos), classificação utilizada mundialmente como referência bibliográfica.

É importante observar que os vários ramos da Pedologia não se desenvolveram uniformemente, pois além de não existir, inicialmente, uma nítida ligação entre elas, o seu desenvolvimento dependeu, entre outros, do estágio das ciências básicas correlatas, do aperfeiçoamento de técnicas de trabalho e do equipamento de laboratório (Moniz, 1972).

### 3.2 - Ciência do Solo no Brasil

Moniz (1981) realizou a melhor revisão bibliográfica a respeito da ciência de solo no Brasil. Ele observa que foi a partir da utilização dos solos, principalmente para fins agrícolas, que se acumulou conhecimento nas diversas áreas que constituem a Pedologia no Brasil.

Os primeiros estudos datam de 1887, quando foi criada a Estação Agronômica de Campinas (atual Instituto Agronômico de Campinas) por decreto do Imperador D. Pedro II. Dentre os indivíduos que participaram dessa fase inicial, destaca-se o Prof. F. W. Dafert, cuja preocupação com o solo na exploração agrícola era muito grande. Nesse sentido, vale ressaltar uma passagem do relatório anual de 1889, escrito em parceria com o Prof. Adolpho B. Uchôa Cavalcanti, a respeito das terras do Estado de São Paulo : "...antes de iniciar-se qualquer experiência sobre o desenvolvimento das plantas em um país, será necessário obterem-se informações sobre a natureza do solo e o carácter do clima.". Uma outra personalidade importante foi o Prof. Theodureto de Camargo que, em meados da década de 20, assumiu o Instituto Agronômico de Campinas e iniciou uma nova era na pesquisa agrícola brasileira ao lançar as bases da experimentação científica, montando inúmeros ensaios de campo e de estufa, principalmente sobre adubação e nutrição de plantas. Vale ressaltar que era forte a influência da ciência alemã nesse início do desenvolvimento da Pedologia no Brasil (Moniz, 1981). Em 1935, foi criada a Seção de Solos no Instituto Agronômico, sendo convidado o Prof. Paul Vageler para organizá-lo e dirigí-lo com os seguintes objetivos: a) estudo de metodologia analítica, física, química e mineralógica; b) caracterização química e física dos solos; c) tentativa de identificação das diferentes unidades de solos; d) conceituação sobre teores trocáveis.

Em 1940, José Setzer traz a tona outra característica importante do solo, as suas propriedades físicas que, segundo ele, associadas com as químicas, influenciariam as colheitas.

Com respeito à classificação de solos, o conceito mundialmente reconhecido da divisão do perfil em horizontes só foi mais amplamente divulgado a partir do trabalho de Setzer em 1941. O primeiro mapa de solos foi realizado em 1947, pela equipe do Instituto José Augusto Trindade (Souza-PB), onde se destacaram os pioneiros Francisco Edmundo de Souza Melo e Osvaldo de Souza Danrtas. Com a criação da Comissão de Solos do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas do Ministério da Agricultura, em 1947, tem início o inventário geral dos recursos de solos do território nacional (Moniz, 1981).

No que diz respeito à conservação de solo, Moniz (1981) cita Carlos T. Mendes (1936) que indica ter sido Carlos Botelho, em 1920, o primeiro brasileiro a indicar um “eficaz, prático e exequível de combater a erosão”, apesar de ter sido Dafert, em 1893, quem primeiro chamou a atenção para os perigos da erosão.

A área de biologia de solo é, dos campos da ciência do solo, a mais recentemente desenvolvida no Brasil, a partir da década de 20, iniciando-se com a criação da Seção de Bacteriologia Agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas, cujos trabalhos iniciais estavam relacionados à compostagem e ao estudo de diazotróficos de vida livre (Dobereiner & Franco, 1995).

#### 4. SOLOS E A BIODIVERSIDADE

Toda a vida na Terra faz parte de um grande sistema interdependente, que, simultaneamente, interage e depende dos componentes abióticos do planeta: atmosfera, oceanos, água doce, rochas e solos (WRI, 1992). A humanidade é totalmente dependente dessa comunidade viva (Biosfera).

A diversidade biológica pode ser definida como a variedade e variabilidade entre organismos vivos e os complexos ecológicos em que eles ocorrem (McNeely et al., 1990 citado por Sombroek, 1994). Sombroek (1994) define, então, 3 níveis de diversidade: de ecossistemas, de espécies e genética. A primeira representa a variedade de “habitats”, comunidades biológicas e processos ecológicos. O solo, conseqüentemente, faz parte deste nível de diversidade, junto com as condições climáticas da

superfície, hidrologia superficial e subsuperficial, relevo e as variações espaciais e temporais dos processos geomorfológicos.

A conservação da biodiversidade é fundamental, então, para o sucesso do processo de desenvolvimento. Como esta estratégia global para a biodiversidade explica (WRI, 1992), conservar a biodiversidade não é apenas uma questão de proteger a vida silvestre dentro de reservas naturais. Trata-se, também, de salvaguardar os sistemas naturais da Terra que sustentam nossa vida; purificar as águas, reciclar o oxigênio, o carbono e outros elementos essenciais; manter a fertilidade do solo; proporcionar alimentos provenientes da terra, dos rios e dos mares; produzir medicamentos e salvaguardar a riqueza genética da qual depende a luta incessante para melhorar nossas culturas e rebanhos.

A fina camada de solo que cobre a superfície da Terra, nesse contexto da biodiversidade, representa a diferença entre sobreviver ou ser extinto para a maioria da vida terrestre. Solo é um recurso natural vital não renovável se considera-se a escala de tempo humana (Jenny, 1980, citado por Doran & Parkin, 1994). Desta forma, o conhecimento da interrelação entre o solo e os ecossistemas naturais é um dos tópicos chaves para se compreender, proteger e conservar a biodiversidade.

Com isso, pretende-se, a partir de agora, neste item, abordar uma questão que o autor considera fundamental para o conhecimento das interrelações citadas: o solo influencia a biota ou é a biota que criou o solo como um corpo natural com propriedades favoráveis a vida na Terra ?

#### **4.1 - As Propriedades do Solo Como Consequência da Biodiversidade**

Coleman & Crossley Jr. (1996), citando van Bremen (1992) apontam cinco hipóteses para a relação do solo com a biota:

- i) existem propriedades do solo favoráveis ao desenvolvimento da vida terrestre, em geral;
- ii) a biota, incluindo plantas e os organismos que habitam o solo, são capazes de afetar as propriedades do solo;

- iii) numa escala de ecossistema e/ou global, as ações bióticas fazem com que os primeiros 100cm da camada da crosta terrestre sejam mais favoráveis a vida, em geral, se comparado a mesma situação, porém, sem sua presença;
- iv) na escala de ecossistema, a biota tende a sobrepujar os efeitos desfavoráveis de propriedades do solo ou do material de origem;
- v) modificação das propriedades do solo tem papel importante na competição entre as espécies.

A fim de facilitar a discussão, o tópico será abordado com relação aos ciclos biogeoquímicos e à heterogeneidade espaço-temporal das características do solo.

#### 4.1.1 - Ciclos Biogeoquímicos

O fluxo de elementos num ecossistema é produto de processos biogeoquímicos que ocorrem em níveis hierárquicos diferentes (Beare et al., 1995). Coleman & Crossley Jr. (1996) observam que a decomposição da matéria orgânica detritica, no solo, é o principal fluxo de energia nos ecossistemas terrestres. Desta forma, será avaliada a participação de cada componente da biodiversidade do solo no processo de ciclagem.

##### A) Planta

Os vegetais superiores servem como fonte primária de energia (através da fixação do carbono atmosférico) e são, ao mesmo tempo, fonte e depósito de nutrientes. Diferenças específicas entre espécies, como na sua concentração orgânica (lignina, celulose, etc), no conteúdo de nutrientes de seus tecidos e na produção de biomassa, influenciam o tempo de decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, na liberação de nutrientes ao solo (Beare et al., 1995). Blair (1988) apresenta, por exemplo, valores de taxa de decaimento de nitrogênio, enxofre e fósforo diferentes quando estudou as liteiras (material orgânico que cai das plantas e se acumula na superfície do solo) formadas embaixo de vegetação do tipo “dogwood, red maple, chestnut oak” em região no sul dos Apalaches.

As plantas também afetam diretamente a ciclagem de nutrientes por sua ação no intemperismo de minerais. Isto ocorre em virtude da liberação de exsudatos da raiz que, abaixando o pH ou quelatando metais, liberam vários nutrientes essenciais. Contudo, isso varia entre as espécies. Knool

and James (1987), citados por Beare et al. (1995), encontraram, por exemplo, que os solos dominados por coníferas apresentavam um menor grau de intemperismo que os dominados por vegetação decídua.

#### B) Bactérias

Elas são responsáveis por algumas das principais e específicas transformações biogênicas dos ciclos de certos elementos (Beare et al., 1995). No ciclo do nitrogênio, por exemplo, várias bactérias estão envolvidas nos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Embora a fixação biológica de nitrogênio esteja amplamente difundida, a bactéria responsável por essa transformação está limitada a uma faixa estreita de condições ambientais.

#### C) Fungos

São os maiores componentes da biomassa do solo e são considerados como reguladores de processos em ecossistemas. São versáteis e têm papel importante na decomposição da liteira.

#### D) Fauna

Do ponto de vista funcional (Swift, 1979, citado por Beare et al., 1995), a fauna do solo pode ser classificada por seu tamanho:

i) a microfauna é composta, principalmente, por nematóides e protozoários. Sua principal participação na biociclagem ocorre por causa de sua alimentação, baseada em fungos e bactérias, e excreção. Devido aos elevados níveis de consumo e rápidas taxas de “turn over” eles tendem a controlar a dinâmica das populações de fungos e bactérias;

ii) a mesofauna compreende vários tipos de organismos. Os enchytraídeos consomem matéria orgânica e alteram a porosidade do solo, o que afeta a distribuição da solução do solo e as trocas gasosas. Microartrópodos atuam no processo de mineralização de nutrientes, além de, junto com milípodas, fragmentarem a liteira, o que aumenta a área de ataque de microorganismos;

iii) a macrofauna, representada por diversos organismos, como os térmitas e minhocas, são responsáveis, entre outros, pela incorporação de matéria orgânica e transformação de solutos e partículas em profundidade.



