

**Potencial de Utilização dos Atributos das Comunidades de Fauna de Solo e de Grupos Chave de Invertebrados como Bioindicadores do Manejo de Ecossistemas**



**República Federativa do Brasil**

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

**Ministério da Agricultura e do Abastecimento**

*Marcus Vinícius Pratini de Moraes*  
Ministro

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

**Conselho de Administração**

*Márcio Fontes de Almeida*  
Presidente

*Alberto Duque Portugal*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*

*José Honório Accarini*

*Sérgio Fausto*

*Urbano Campos Ribeiral*

Membros

**Diretoria Executiva da Embrapa**

*Alberto Duque Portugal*  
Diretor Presidente

*Bonifácio Hideyuki Nakasu*

*Dante Daniel Giacomelli Scolari*

*José Roberto Rodrigues Peres*

Diretores Executivos

**Embrapa Agrobiologia**

*Maria Cristina Prata Neves*  
Chefe Geral

*José Ivo Baldani*

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Geraldo Baêta da Cruz*  
Chefe Adjunto Administrativo



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia  
Ministério da Agricultura e do Abastecimento

ISSN 1517-8498

Dezembro/2002

# **Documentos 157**

**Potencial de Utilização dos Atributos das  
Comunidades de Fauna de Solo e de Grupos Chave  
de Invertebrados como Bioindicadores do Manejo de  
Ecossistemas**

Maria Elizabeth Fernandes Correia

*Seropédica – RJ*

2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

**Embrapa Agrobiologia**

BR465 – km 47

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: [www.cnpab.embrapa.br](http://www.cnpab.embrapa.br)

e-mail: [sac@cnpab.embrapa.br](mailto:sac@cnpab.embrapa.br)

Comitê Local de Publicações: José Ivo Baldani (Presidente)  
José Antônio Ramos Pereira  
Marcelo Grandi Teixeira  
Robert Michael Boddey  
Segundo Sacramento Urquiaga Caballero  
Verônica Massena Reis  
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisor e/ou ad hoc: Orivaldo José Saggin-Júnior

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2002): 50 exemplares

**CORREIA, M. E. F. Potencial de Utilização dos Atributos das Comunidades de Fauna de Solo e de Grupos Chave de Invertebrados como Bioindicadores do Manejo de Ecossistemas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2002. 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 157).

ISSN 1517-8498

1. Fauna edáfica. 2. Ecossistema. 3. Bioindicador. 4. Decomposição.

I. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). II. Título. III. Série.

CDD 577.57

© Embrapa 2002

YACHI, S.; LOREAU, M. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment. The insurance hypothesis. **Proceedings of the National Academy**, Washington, v. 96, p.1463-1468, 1999.

LIMA, D. A.; CORREIA, M. E. F.; SANTOS, H. P.; AQUINO, A. M.; MANTO, L.; FONTANELI, R. S. Influência de diferentes sistemas de preparo de solo e rotações de culturas sobre a macrofauna do solo em Passo Fundo, Rio Grande do sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Agricultura: Bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado. Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002. FERTBIO 2002. CD ROM.

LOBRY DE BRUYN, L. A. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, p. 425-441, 1999.

PAOLETTI, M. G. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, p. 1-18, 1999.

SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo sobre a estrutura populacional da macrofauna edáfica, em Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Agricultura: Bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado. Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002. FERTBIO 2002. CD ROM.

STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 7, n. 1/2, p. 38-47, 1992.

Van STRAALLEN, N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, p. 429-437, 1998.

Autor

Maria Elizabeth Fernandes Correia  
Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia.  
BR 465, km 47 – Caixa Postal 74505  
23890-000 – Seropédica/RJ  
e-mail: ecorreia@cnpab.embrapa.br

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN; J. W.; COLEMAN; D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Society of America, 1994. P. 3-21 (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, p. 3-11, 2000.

FOWLER, H. G. Provas de melhoria ambiental. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.24, p. 69-71, 1998.

FROUZ, J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, p. 167-186, 1999.

GRIFFITHS, B. S.; BONKOWSKI, M.; ROY, J.; RITZ, K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 16, p. 49-61, 2001.

HAIMI, J. Decomposer animals and bioremediation of soils. **Environmental Pollution**, Essex, v. 107, p. 233-238, 2000.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystems engineers. **Oikos**, Copenhagen, v. 69, p. 373-386, 1994.

KUPERMAN, R. G. Relationships between soil properties and community structure of soil macroinvertebrates in a oak-hickory forests along an acidic deposition gradient. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 4, p. 125-137, 1996.

LAVELLE, P.; PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in peruvian amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiologia**, Jena, v. 33, p. 283- 291, 1989.

CORREIA, M. E. F. Organizações da Comunidade de Macroartrópodes Edáficos em um Ecossistema de Mata Atlântica de Tabuleiros, Linhares (ES). 1994. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto de Biologia, Rio de Janeiro, RJ.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. IN: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.

CORREIA, M. E. F.; de FARIA, S. M.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Organização da comunidade de macroartrópodes edáficos em plantios de eucaliptus e leguminosas arbóreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 442.

CORREIA, M. E. F.; LIMA, D. A.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; TAVARES, S. R. L. Comunidades da macrofauna do solo em áreas de floresta secundária de mata atlântica no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 5., Porto Alegre, 2001, **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2001. Porto Alegre, 2001. CD ROM.

COSTA, P.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, G. C.; FRANCO, A. A. Estudo comparativo das comunidades de fauna de solo em sistemas florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., out. 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: UFLA / SBCS / SBM, 1998. p.158.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 119-127, 2002.

## Apresentação

A preocupação crescente da sociedade com a preservação e a conservação ambiental tem resultado na busca pelo setor produtivo de tecnologias para a implantação de sistemas de produção agrícola com enfoque ecológico, rentáveis e socialmente justos. O enfoque agroecológico do empreendimento agrícola se orienta para o uso responsável dos recursos naturais (solo, água, fauna, flora, energia e minerais).

Dentro desse cenário a Embrapa Agrobiologia orienta sua programação de P&D para o avanço de conhecimento e desenvolvimento de soluções tecnológicas para uma agricultura sustentável.

A agricultura sustentável, produtiva e ambientalmente equilibrada apoia-se em práticas conservacionistas de preparo do solo, rotações de culturas e consórcios, no uso de adubação verde e de controle biológico de pragas, bem como no emprego eficiente dos recursos naturais. Infere-se daí que os processos biológicos que ocorrem no sistema solo/planta, efetivados por microrganismos e pequenos invertebrados, constituem a base sobre a qual a agricultura agroecológica se sustenta.

O documento 157/2002 refere-se à aplicação dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos-chaves de invertebrados como bioindicadores do manejo de ecossistemas. A abordagem dos bioindicadores é recente e procura avaliar os diversos impactos que as atividades antrópicas, como por exemplo a poluição, deposição de dejetos, contaminantes, preparo do solo e o desmatamento causam sobre o ecossistema. A identificação de indicadores biológicos que possam mostrar mudanças funcionais da comunidade da fauna do solo possibilita antever a necessidade de manejo mais adequado do solo visando melhorar a qualidade de vida do solo e a sustentabilidade do ecossistema em atividade.

## SUMÁRIO

1. O Conceito de Bioindicadores e sua Aplicação à Fauna de Solo .....	07
2. Atributos das Comunidades da Fauna de Solo como Bioindicadores .....	12
3. Grupos Chave da Fauna de Solo como Bioindicadores.....	15
Formigas .....	16
Dípteros Edáficos .....	17
4. Referências Bibliográficas .....	19

Os dípteros edáficos apresentam cinco categorias tróficas básicas: fitosaprófago, micrófagos, raspadores, micetófagos e predadores, o que demonstra uma grande diversidade funcional no ecossistema (Frouz, 1999). Além disso, como em muitos casos, o adulto é alado, a capacidade de colonização é rápida e os indivíduos podem inclusive atravessar habitats desfavoráveis. Um exemplo da capacidade de bioindicação deste grupo é dado pela composição relativa das famílias em duas áreas de pousio, após o primeiro ano sem cultivo (Figura 2). Após o cultivo de milho observa-se um predomínio de larvas de Chironomidae, que apresentam um comportamento micrófago, enquanto que após o cultivo do trevo não há uma grande dominância, mas sim um ligeiro predomínio de larvas de Cecidomyiidae e Limonniidae, que são micetófagos e fitosaprófagos respectivamente. Provavelmente o nitrogênio acumulado no solo pelo trevo favoreceu uma melhor qualidade do solo, com condições menos extremas para os dípteros.

### 4. Referências Bibliográficas

BANDEIRA, A. G.; SOUZA, P. C. S. Influência do pinheiro (*Pinus caribea*) sobre a fauna do solo na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 114, p. 1-13, 1982.

BANDEIRA, A. G.; TORRES, M. F. P. Considerações sobre a densidade, abundância e variedade de invertebrados terrestres em áreas florestais de Carajás, sudeste da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 4, p. 191-199, 1988.

BARROS, M. E.; BLANCHART, E.; DESJARDINS, T.; FERNANDEZ, E.; MATOS, J.; NEVES, A.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. Macrofauna e agregação do solo em três sistemas da Amazônia central. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1., SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4., 1996, Águas de Lindóia, SP. **Resumos...** Águas de Lindóia, SOP: USP / SLCS / SBCS, 1996. CD ROM.



# Potencial de Utilização dos Atributos das Comunidades de Fauna de Solo e de Grupos Chave de Invertebrados como Bioindicadores do Manejo de Ecossistemas

Maria Elizabeth Fernandes Correia

## 1. O Conceito de Bioindicadores e sua Aplicação à Fauna de Solo

O interesse na qualidade do solo tem sido estimulado por uma maior conscientização de que o solo é vital tanto para a produção de alimentos e fibras, como para o funcionamento global dos ecossistemas (Doran, 2002). Este autor define a qualidade do solo, em termos gerais, como a capacidade de um solo de funcionar dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, sustentando a produtividade vegetal e animal, mantendo ou promovendo a qualidade da água e do ar, além de promover a saúde animal e vegetal. Este ponto de vista se confunde em parte, com o que se espera do ecossistema, em termos de serviços ambientais.

Além disso, propriedades como a estabilidade e a resiliência dos solos estão também inseridas nas definições de qualidade do solo, já que se supõe que um solo de boa qualidade seja capaz de resistir a modificações e de se recuperar após algum impacto (Griffiths et al., 2001). Da mesma forma, a estabilidade funcional está mais associada à estabilidade de uma função biológica em face a alguma perturbação, do que à estabilidade da estrutura física e de propriedades químicas do solo (Griffiths et al., 2001). A manutenção

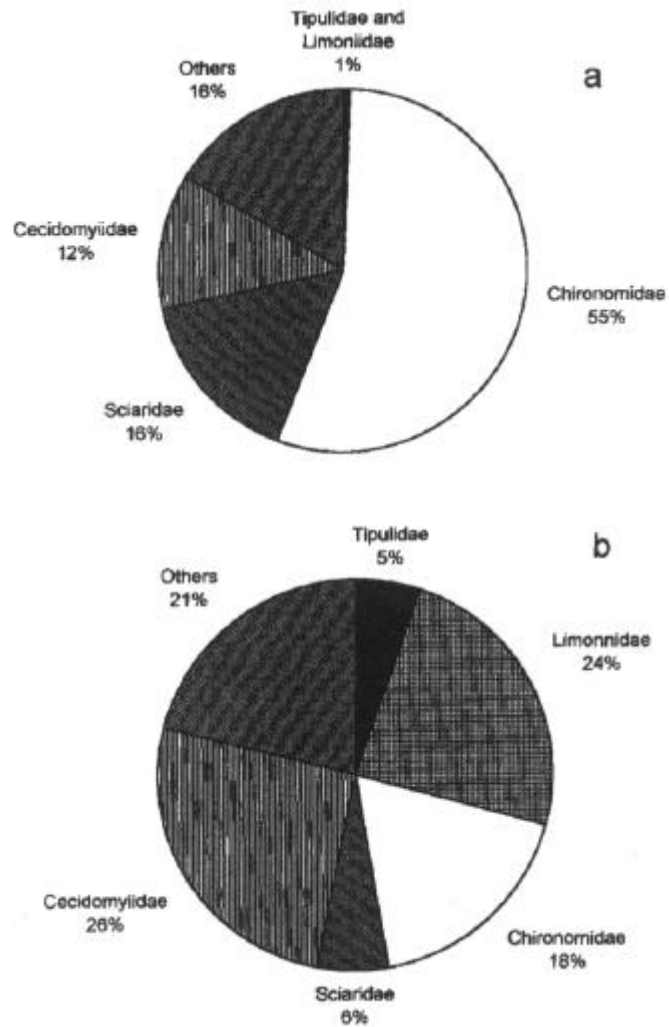


Figura 2- Composição da comunidade de larvas de dípteros edáficos em duas áreas de pousio após um ano de abandono do cultivo. a- após o cultivo de milho, b- após o cultivo de trevo (modificado de Frouz, 1999)

do status biológico de um solo é geralmente encarado como um fator chave da produção sustentável e que assegura ao ecossistema funções como a decomposição, a ciclagem de nutrientes e a gênese estrutural. Mesmo quando uma alta riqueza de espécies não exerce um papel fundamental na manutenção dos processos do ecossistema sob condições normais, ela pode ser essencial quando as condições mudam (Yachi & Loreau, 1999).

Os organismos do solo são sensíveis às práticas de manejo do solo, a impactos de origem antrópica, bem como a propriedades inerentes do próprio ecossistema, tais como o clima, o solo e a vegetação. Esta habilidade para integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do ecossistema, tornam os organismos do solo, particularmente aqueles da fauna, um potencial bioindicador da qualidade do solo (Doran & Zeiss, 2000). A fauna do solo pode ser explorada nos processos de remediação e recuperação principalmente de duas maneiras. A primeira, pela sua participação nos processos, aumentando a atividade metabólica do solo em associação com os microrganismos. A segunda maneira é como bioindicadores de situações extremamente adversas, como nos casos de contaminação (Haimi, 2000).

Apesar de recente, a utilização de bioindicadores é uma abordagem inovadora que permite avaliar vários tipos de impactos, como a poluição, deposição de dejetos e contaminantes, preparo do solo e desmatamento. Este tipo de abordagem utiliza os organismos e a biodiversidade como ferramentas para avaliar eventos não naturais no ambiente (Paoletti, 1999). O objetivo dos estudos baseados em bioindicadores é usar os componentes vivos do ambiente em estudo como elementos chave para avaliar as transformações e seus efeitos, e no caso da recuperação de áreas degradadas, monitorar os processos de remediação em diferentes partes da paisagem ao longo do tempo (Paoletti, 1999).

Van Straalen (1998) afirma que a bioindicação está relacionada, direta ou indiretamente, a algum fator ou a um complexo de fatores, aos quais “indica”, como um barômetro indica a mudança de pressão do ar. No entanto, organismos são entidades muito mais

## \* Dípteros Edáficos

As larvas de dípteros do solo representam uma importante parcela da comunidade edáfica em uma variedade de ecossistemas, desde florestas clímax a agroecossistemas. Suas abundâncias variam de centenas a milhares de indivíduos por metro quadrado e participam de processos biológicos importantes, como a decomposição da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (Frouz, 1999).

De acordo com a sua relação com o solo, os Diptera terrestres podem ser divididos em três grupos. Apenas poucos dípteros passam todo o seu ciclo de vida no solo, o que inclui alguns Sciaridae e Cecidomyiidae sem asas. Esta é uma adaptação para a vida adulta no solo. Um grupo grande de dípteros passa toda a sua fase de desenvolvimento de estágios imaturos no solo, enquanto os adultos emergem do solo. Finalmente, um terceiro grupo desenvolve-se em substratos específicos, como tecidos de plantas, carcaças, fezes e empupam no solo (Frouz, 1999). Alguns tipos morfológicos de larvas e adultos de dípteros do solo são apresentados na Figura 1.

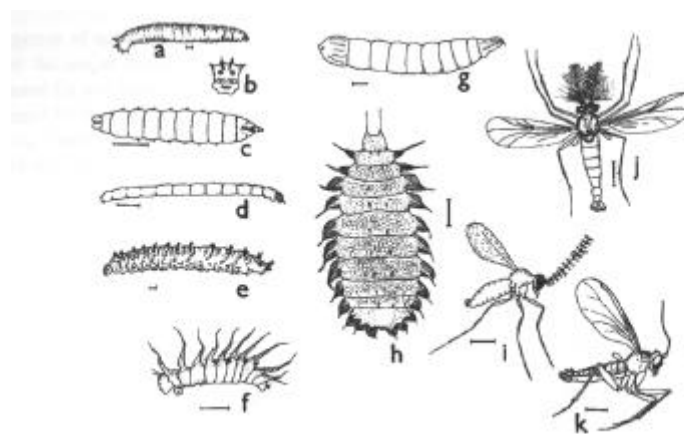


Figura 1- Alguns tipos morfológicos de dípteros do solo. As barras de escala representam 1 mm. a-h larvas, a e b- Tipulidae, c- Cecidomyiidae, d Chironomidae, e- Bibionidae, f- Ceratopogonidae, g- Empididae, h – Faniidae; i-k adultos, i – Cecidomyiidae, j – Chironomidae, k – Sciaridae. (modificado de Frouz, 1999).

## \* Formigas

As formigas têm uma função resiliente na manutenção da qualidade do solo devido a sua habilidade para sobreviver em solos agrícolas, apesar das oscilações do clima e dos regimes de perturbação (Lobry de Bruyn, 1999). No entanto, esta função é realizada por um reduzido número de espécies, já que a atividade agrícola convencional promove uma redução na biodiversidade de formigas. As modificações nas condições microclimáticas freqüentemente afetam o desenvolvimento de larvas e pupas e o uso de agroquímicos reduz a disponibilidade alimentar (Lobry de Bruyn, 1999).

Por outro lado, as práticas de reabilitação de ecossistemas promovem um rápido enriquecimento da comunidade de formigas, como foi demonstrado por Fowler (1998). Neste estudo, as áreas de mineração revegetadas com a leguminosa *Mimosa scabrella*, apresentam mesmo com apenas 4 anos, de 23 a 30 espécies de formigas, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Formigas na região de Poços de Caldas (MG), em matas nativas, campos de altitude não perturbados e áreas de reabilitação (modificado de Fowler, 1998).

Áreas amostradas	Total de espécies	Média de espécies compartilhadas com outras áreas	Espécies restritas ao local (%).
Mata Nativa	36	8,8	30,6
Mata Nativa	21	6,5	18,2
Campo de altitude	21	8,7	13,0
Campo de altitude	23	7,8	20,0
Reveg.-8 anos	18	9,8	-
Reveg.-8 anos	24	10,6	4,4
Reveg.-7 anos	24	9,4	-
Reveg.-7 anos	21	10,7	7,7
Reveg.-6 anos	20	11,2	-
Reveg.-6 anos	20	9,9	-
Reveg.-5 anos	13	10,6	-
Reveg.-5 anos	17	9,7	-
Reveg.-4 anos	23	6,7	7,7
Reveg.-4 anos	30	7,7	16,7

complexas do que um conjunto de poucos gases, como o ar. Não necessariamente um organismo ou conjunto de organismos responderão exatamente da mesma forma e com a mesma intensidade sob um conjunto de condições ambientais. Desta forma, por ser complexa, o autor justifica o uso da bioindicação sob três circunstâncias:

1. **O fator indicado não pode ser medido**, sendo esta situação exemplificada pela aplicação de bioindicadores para evidenciar fatores ambientais passados.
2. **O fator ambiental é difícil de ser medido**, como o que acontece para substâncias químicas com uma meia vida muito curta. Neste caso, é mais eficiente medir os seus efeitos ecológicos.
3. **O fator ambiental pode ser medido, mas é de difícil interpretação**, e não pode ser avaliado sem a simultânea avaliação de um bioindicador .

A bioindicação pode ocorrer ao longo do vários níveis de organização biológica, com uma função e métodos específicos, recebendo termos próprios (Van Straalen, 1998):

- Biomarcador medidas de variáveis bioquímicas ou fisiológicas de indivíduos ou de seus produtos de excreção, fornecendo informações sobre exposição ou dano;
- Sistema biorepórter termo usado para uma ferramenta molecular, freqüentemente associada a células geneticamente modificadas, que transformam a presença de substância em um sinal facilmente mensurável, tal como a luminescência;
- Biosensor (também chamado de bioprobe) dispositivo físico que permite a detecção de um sinal químico ou elétrico derivado de um biocatalisador, tal como uma enzima ou um anticorpo;
- Bioensaio sistema de testes ecotoxicológicos de curta duração e protocolo definido, no qual a atividade de uma substância é medida como um efeito adverso em alguma espécie teste;

- Biomonitoramento todas estas atividades anteriores repetidas no tempo;
- Bioindicação todas atividades ao nível de indivíduo ou superior (populações, comunidades, ecossistemas)
- Sistema Bioindicador conjunto coerente de indicadores, sendo cada um relacionado a um aspecto particular do ambiente, que em conjunto, maximizam a informação.

De acordo com Doran & Parkin (1994) um bom indicador da qualidade do solo deve obedecer aos seguintes critérios:

- estar associado aos grandes processos do ecossistema;
- integrar propriedades físicas, químicas e biológicas;
- ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo;
- ser sensível a variações no manejo e no clima;
- quando possível, fazer parte de bancos de dados.

A fauna do solo está intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade do ecossistema. É ao mesmo tempo agente transformador e reflexo das características físicas, químicas e biológicas dos solos. A sensibilidade dos invertebrados de solo aos diferentes manejos, reflete claramente o quanto uma determinada prática de manejo pode ser considerada ou não conservativa do ponto de vista da estrutura e fertilidade do solo. Tais características já justificam a utilização da fauna de solo como indicadora das modificações do ambiente. Quando o estudo da organização da comunidade se restringe a grandes grupos taxonômicos, não sendo necessário um conhecimento taxonômico profundo, o acesso a muitos usuários é facilitado, o que amplia as possibilidades de sua utilização como indicador.

No entanto, apesar de se ter um número considerável de trabalhos a respeito das funções da fauna de solo, bem como das respostas a interferências antrópicas, tais estudos estão concentrados em

A classificação trófica da fauna de solo é uma dos atributos da comunidade que podem ser utilizados como bioindicadores (Stork & Eggleton, 1992). É comum que após algum impacto no ecossistema, a oferta de alimento seja alterada tanto em quantidade quanto na sua origem. Isto faz com que a proporção entre grupos tróficos, tais como saprófagos, predadores e herbívoros (alguns dos quais pragas) seja também modificada. Esta proporção é um bioindicador interessante porque associa uma propriedade funcional, indicando que via energética é priorizada após a perturbação. Um exemplo deste tipo de atributo da comunidade é dado no trabalho realizado por Kuperman (1996), que observou uma menor proporção de invertebrados decompositores em um gradiente de acidificação, decorrente da ocorrência de chuvas ácidas no vale do Rio Ohio, ao longo de três estados americanos, Illinois, Indiana e Ohio, por diversas décadas e onde a vegetação predominante eram florestas de carvalho e nogueira .

### **3. Grupos chave da Fauna de Solo como Bioindicadores**

A idéia de que algumas espécies (ou grupos de espécies) são mais importantes para a comunidade do que outras têm sido cada vez mais aceita. Estas espécies ou grupos chave apresentam elevadas densidades ou desempenham um papel crítico na cadeia alimentar (Stork & Eggleton, 1992). Por definição, a remoção de espécies chave promovem grandes mudanças na composição de espécies e outros atributos do ecossistema (Jones et al., 1994). As espécies que desempenham o papel de “engenheiros do ecossistema” afetam direta ou indiretamente a disponibilidade de um recurso para outras espécies, através da modificação física de materiais bióticos ou abióticos e podem ser consideradas como espécies chave (Jones et al., 1994).

A seguir será discutido o potencial de bioindicação de dois grupos chave da fauna do solo, que raramente são considerados como relevantes para o funcionamento do solo: as formigas e os dípteros edáficos. Em geral, as formigas são sempre vistas como pragas, não importando se realmente o são e os dípteros, pela dificuldade taxonômica que apresentam, são deixados de lado.

coletados apenas 7 grupos, no plantio direto o número de grupos capturados foi quase o dobro, 13.

Tabela 2 - Densidade (indivíduos.m<sup>-2</sup>) de Formicidae, Isoptera, Oligochaeta e da macrofauna em geral em diferentes ecossistemas naturais e agrícolas (modificado de Correia & Andrade, 1999).

	Formicidae	Isoptera	Oligochaeta	Macrofauna	Referências
	Florestas				
Icoaraci (PA)	2.394	1.834	0	6.706	Bandeira & Souza (1982)
Carajás (PA)	3.760	1.063		11.342	Bandeira & Torres (1988)
Linhares (PA)	2.112	46	nq	4.200	Correia (1994)
Yurimaguas (Peru)					
- Floresta Primária	555	3.240	120	4.303	Lavelle & Pashanasi (1989)
- Floresta Secundária	290	3.570	85	4.099	
Paraty (RJ)					
- Floresta Secundária	501	110	288	1.346	Correia et al. (2001)
Valença (RJ)					
- Floresta Secundária	340	380	73	1.367	Correia et al. (2001)
	Plantios Arbóreos				
Pinnus caribea (PA)	2.992	42	0	5.473	Bandeira & Souza (1982)
Mimosa caesalpinifolia (RJ)	1.440	0	nq	2.170	Correia et al. (1995)
Acacia mangium (RJ)	285	0	3	1.945	Costa et al. (1998)
Eucalyptus grandis (RJ)	38	0	3	912	Costa et al. (1998)
	Pastagens				
Manaus (AM)					
- Pastagem de 15 anos	186	468	224	1.064	Barros et al. (1996)
- Pastagem abandonada	2.194	2.090	366	5.224	
Paraty (RJ)					
-Pasto nativo	596	4	539	1.255	Correia et al. (2001)
	Cultivo de Grãos				
Passo Fundo (RS)-trigo/soja					
- Plantio Direto	72	24	75	749	Lima et al. (2002)
- Plantio Convencional	5	27	35	891	
Dourados (MS)					
- Plantio Direto (soja/trigo/soja)	217	6	3	282	Silva et al. (2002)
- Plantio Convencional (soja/aveia/soja)	154	35	0	301	

nq: não quantificado

determinadas regiões, particularmente as temperadas. O número de trabalhos sobre fauna de solo em regiões tropicais, apesar de crescente, está ainda muito aquém do necessário. No Brasil, o número de trabalhos é irrelevante em relação à área e diversidade de ecossistemas do país.

Como o uso da organização de comunidades como indicador se baseia em comparações, é de fundamental importância a criação de bancos de dados e o estabelecimento de padrões e categorizações que qualifiquem a interferência antrópica em um sistema. Alguns especialistas em fauna de solo, sob a coordenação do Dr. Carlos Fragoso, do Instituto de Ecologia, em Xalapa, no México, estão montando uma base de dados mundial de macrofauna do solo, com diversas informações a respeito do ambiente, tais como solo, clima, vegetação e tipo de manejo. A idéia é disponibilizar os dados via internet, a fim de que comparações possam ser feitas, permitindo o estabelecimento destes padrões.

Apesar de ter sido amplamente utilizado em sistemas aquáticos com relativo sucesso, o conceito de espécie indicadora tem sido muito pouco usado para o solo. De acordo com Van Straalen (1998), "não existem bons exemplos na literatura de zoologia do solo a respeito dessa abordagem". Uma das razões seria que apesar de ter uma alta especificidade, já que uma espécie indicadora reage de uma maneira específica, apresenta uma baixa resolução devido a inevitáveis flutuações de densidade. Muitas vezes, os zoólogos do solo optam por medir a diversidade da comunidade como um todo, em vez de focalizar uma única espécie. Índices gerais de diversidade nem sempre se mostram úteis, já que ao condensar parâmetros como riqueza de espécies (ou grupos) e equitabilidade, podem ser predominantemente influenciados por um desses e tornar difícil a interpretação dos resultados. Além disso, o tamanho e o número das amostras podem influenciar decisivamente tanto na ocorrência dos grupos, como na densidade destes. Um exemplo concreto disso é a ocorrência de insetos sociais. Têmicas e formigas são insetos que vivem preferencialmente em ninhos. A amostragem acidental de parte de suas colônias gera uma extrema dominância nos resultados de equitabilidade e uma conseqüente redução no

índice de diversidade de Shannon. No entanto, isto não significa que este ambiente seja necessariamente menos diverso do que outros.

O autor também apresenta uma tabela contendo a avaliação de alguns princípios de bioindicação utilizados para as comunidades de artrópodes de solo, de acordo com os critérios de especificidade e resolução (Tabela 1). De um modo geral, os princípios isoladamente não satisfazem adequadamente os dois critérios, de tal forma que a combinação de dois princípios como por exemplo, a utilização de grupos funcionais e a estatística multivariada, seriam capazes de um melhor nível de bioindicação.

Tabela 1 – Avaliação de alguns princípios de bioindicação usados em comunidades de artrópodes de solo, baseada nos critérios de especificidade e resolução, em três níveis: baixo (-) e alto (+) e muito alto (++) (Van Straalen, 1998).

Princípio de Bioindicação	Especificidade	Resolução
Espécie indicadora	+	-
Relações de proporção entre espécies	+	-
Índices de diversidade de espécies	-	-
Estrutura de dominância	-	+
Estatística multivariada	-	++
Padrões de história de vida	-	+
Tipos tróficos	++	+
Grupos funcionais	++	+
Tipos ecofisiológicos	++	+

## 2. Atributos das Comunidades da Fauna de Solo como Bioindicadores

A maior parte dos primeiros trabalhos sobre comunidades de fauna do solo consistiam em levantamentos de espécies em sítios naturais, procurando associar o conjunto das espécies ao tipo de ecossistema. A partir dessa abordagem, foram sendo estimadas

algumas propriedades simples das comunidades que consistem nos bioindicadores ao nível de comunidade mais extensivamente usados até hoje: a densidade, biomassa, riqueza e diversidade de espécies. Estas propriedades, apesar de variáveis ao longo do ano, ou até mesmo em função da heterogeneidade espacial, guardam uma coerência interna resultante da coevolução com o ecossistema. Isto significa que, pelo menos teoricamente, existe um mínimo e um máximo para estas medidas, que caracterizam a comunidade de invertebrados de um determinado solo sob um determinado manejo ou condição climática-ambiental.

Na tabela 2 estão sintetizados dados sobre comunidades da fauna de solo em diversos ecossistemas naturais e de origem antrópica em regiões tropicais. Observa-se que, nos ecossistemas florestais naturais, encontramos uma abundante comunidade de artrópodes, sendo a macrofauna dominada por insetos sociais (formigas e cupins). Neste tipo de ecossistema 50% ou mais da fauna está associada à serapilheira, já que o principal aporte de matéria orgânica é proveniente da parte aérea. Em ecossistemas com dominância de gramíneas, como as pastagens, por apresentarem maior aporte de matéria orgânica pelas raízes, a comunidade é dominada por grupos endógeos, como as minhocas. Os plantios arbóreos monoespecíficos possuem densidades totais inferiores aos ecossistemas florestais nativos da mesma região, embora a densidade não seja o melhor critério para se avaliar a comunidade. Muitas vezes uma densidade elevada pode representar a explosão populacional de um ou poucos grupos oportunistas que são bem sucedidos em ambientes simplificados. Os cultivos de grãos citados apresentam uma comparação das comunidades em situações de plantio direto e plantio convencional. Embora a densidade da macrofauna não seja muito divergente entre os dois sistemas de preparo do solo, a composição da comunidade não é igual, já que as densidades de formigas, térmitas e oligoquetos são variáveis. Além disso, no caso de Passo Fundo, a riqueza de grupos no plantio direto foi de 18, enquanto que no plantio convencional apenas 15 grupos foram encontrados. No caso de Dourados, a diferença de diversidade é ainda maior. Enquanto no plantio convencional foram