

# Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Carvão e meio ambiente* é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

# Carvão e Meio Ambiente

---

Centro de Ecologia

---

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

© dos autores  
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira  
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde  
Editoração eletrônica: William Wazlawik  
Toni Peterson Lazaro  
Fernando Piccinini Schmitt

---

C397c Centro de Ecologia/UFRGS  
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

---

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV  
C 332

# Carvão

e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Reitora

**Wrana Maria Panizzi**

Vice-Reitor

**Nilton Rodrigues Paim**

Pró-Reitor de Extensão

**Luiz Fernando Coelho de Souza**

---

**EDITORA DA UNIVERSIDADE**

Diretor

**Geraldo F. Huff**

**CONSELHO EDITORIAL**

**Anna Carolina K. P. Regner**

**Christa Berger**

**Eloir Paulo Schenkel**

**Georgina Bond-Buckup**

**José Antonio Costa**

**Livio Amaral**

**Luiza Helena Malta Moll**

**Maria da Graça Krieger**

**Maria Heloisa Lenz**

**Paulo G. Fagundes Vizontini**

**Geraldo F. Huff, presidente**



---

**Editora da Universidade/UFRGS** • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: [editora@orion.ufrgs.br](mailto:editora@orion.ufrgs.br) - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

# A COMUNIDADE DE MICROARTRÓPODES EM SOLOS DA MICRORREGIÃO CARBONÍFERA DO BAIXO RIO JACUÍ

Marcelo Maisonette Duarte  
Miriam Becker

## INTRODUÇÃO

O solo pode ser definido como um processo natural de acumulação e evolução dos sedimentos minerais, aos quais se vão juntando lenta e progressivamente restos e produtos orgânicos. Este processo tem início no momento em que as rochas entram em contato com o meio ambiente e começam a sofrer transformações.

Segundo RUSSELL (1969) o solo pode ser considerado como a parte da crosta terrestre sólida onde existe atividade biológica, não existindo uma divisão clara entre solo e crosta, com a atividade biológica decrescendo com a profundidade até tornar-se negligível.

Baseado em suas características físico-químicas e biológicas, o solo foi considerado por PAUL (1989) simultaneamente como um componente e como um controlador dos processos do ecossistema.

Alguns dos mais importantes elos nas cadeias alimentares de um ecossistema são aqueles envolvendo os organismos detritívoros do solo, sendo geralmente pouco valorizado o fato de que grande parte da produção primária não é consumida pelos herbívoros, entrando diretamente na cadeia detritívora (STILING, 1992).

Embora algum tipo de atividade biológica possa ocorrer em todos os horizontes do solo, os horizontes orgânicos são geralmente os locais onde ocorrem as mais altas populações e a maior diversidade de espécies (DINDAL, 1990). Quando presentes, os horizontes orgânicos do solo incluem: a) a camada de serapilheira ou "liteira" (horizonte L ou O<sub>o</sub>), um acúmulo de fragmentos vegetais reconhecíveis (folhas, galhos, etc) e resíduos animais; b) a camada de fermentação (horizonte F ou O<sub>1</sub>), uma massa de serapi-

lheira animal e vegetal parcialmente decomposta, e conspicuamente permeada com hifas de fungos e actinomicetes; c) a camada de húmus (horizonte H ou O<sub>2</sub>), composta de produtos amorfos e escuros da decomposição, sem identificação de origem ou fonte. A espessura de cada horizonte orgânico varia de sistema para sistema.

A biota do solo está inserida no próprio conceito de solo (veja, por exemplo: DINDAL, 1990; EISENBEIS e WHICHARD, 1987; KEVAN, 1968; SHEALS, 1969; WALLWORK, 1970) sendo composta por uma infinidade de espécies interdependentes, de organização complexa, que processam a matéria orgânica convertendo-a em solo mineral, fixam o nitrogênio, redistribuem partículas de solo e nutrientes, aumentam a aeração e afetam significativamente a estrutura do solo. Esta biota como um todo é o principal agente na manutenção e elevação de níveis locais de fertilidade e é responsável, portanto, pela perpetuação das espécies e dos níveis de atividade do ecossistema (WITKAMP, 1971; WHITFORD, 1996).

O inestimável papel desempenhado pelos microorganismos do solo - Bactéria, Actinomycetes, Fungi, Algae e Protozoa - inclui a decomposição dinâmica da matéria orgânica e a produção de húmus, a ciclagem de nutrientes e a fixação de elementos químicos, o metabolismo do solo, a produção de compostos complexos que causam a agregação do solo, entre outras funções (DINDAL, 1990).

Os microrganismos do solo são ativos durante curtos períodos de tempo em um número limitado de micro-sítios, sendo as comunidades microbianas consideradas como “uma imensa população dormente”, com uma enorme riqueza de espécies e uma grande habilidade para sobreviver em “tempos difíceis” (LAVELLE e outros, 1995).

Os microrganismos como um grupo dominam a biomassa abaixo do solo tanto em termos dos “pools” de nutrientes presos a eles, quanto em termos da série de processos que realizam (PAUL, 1989). Estes organismos ativos, com sua alta relação área/volume, podem ser considerados tecidos vivos, concentrando em si elementos químicos, compostos e energia.

Os fungos do solo por exemplo, possuem a habilidade de concentrar elementos químicos biologicamente importantes, tais como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Potássio (K), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Sódio (Na) e Zinco (Zn) de substratos diluídos (WALLWORK, 1983). Estes elementos, imobilizados na biomassa dos fungos, são liberados novamente através das atividades alimentares de muitos organismos do solo.

Do ponto de vista funcional, a fauna do solo é mais freqüentemente classificada pelo tamanho, sendo diferenciada, segundo WALLWORK (1983), em três grupos principais: microfauna (< 0,2 mm), mesofauna (>0,2 mm e < 2 mm) e macrofauna (> 2 mm).

A microfauna do solo é composta principalmente por protozoários (Protozoa) e nematóides (Nematoda), os quais alimentam-se basicamente de fungos e bactérias, existindo também muitas formas parasitas ou predadoras. O efeito principal desta microfauna sobre o ciclo biogeoquímico ocorre através da sua alimentação, com a assimilação de tecidos microbianos e a excreção de nutrientes minerais (BEARE e outros, 1995).

A mesofauna do solo compreende uma grande diversidade de organismos, entre os quais os microartrópodes, principalmente *Acari* e *Collembola*, e os também abundantes *Enchytraeidae* (*Annelida*).

Os *Enchytraeidae* afetam a ciclagem de nutrientes através do seu processo geofágico da matéria orgânica e de mudanças no tamanho e distribuição dos poros do solo, que afetam o transporte de solutos e a disponibilidade de oxigênio (DIDDEN, 1990), desempenhando também um papel fundamental na dinâmica do nitrogênio (KOMULAINEN e MIKOLA, 1995).

A importância dos microartrópodes do solo no ciclo biogeoquímico resulta da aumentada mineralização de nutrientes durante sua alimentação sobre a microflora e microfauna, da cominuição dos detritos de plantas e deposição de pelotas fecais que aumentam a superfície para o ataque microbiano, além da dispersão de esporos e da liberação de constituintes solúveis em água (BUTCHER e outros, 1971; SEADSTED, 1984). Esta influência indireta pode ser de grande importância para a velocidade do processo de decomposição da matéria orgânica (SANTOS e outros, 1981; SANTOS e WHITFORD, 1981; VOSSBRINCK e outros, 1979).

Diferenças espécie-específicas na contribuição dos microartrópodes do solo para a ciclagem de nutrientes são pouco conhecidas (BEARE *et al.*, 1995). Muitos microartrópodes são fungívoros, outros são bacterívoros e outros predam vários grupos da micro- e mesofauna.

Alguns autores sugerem que os ácaros oribatídeos (Acari: Cryptostigmata), geralmente o grupo com maior abundância de indivíduos e maior diversidade de espécies entre os artrópodes de solos maduros (SCHEU e SCHULZ, 1996; WALWORK, 1983), podem ser classificados em três principais guildas alimentares: a) microfítófagos, alimentando-se de hifas de fungos e esporos; b) macrofítófagos, alimentando-se de fragmentos de plantas superiores; c) panfítófagos, alimentando-se de fragmentos de plantas e fungos (LUXTON, 1972; KANEKO, 1988; WALWORK, 1983).

SIEPEL e RUITTER-DUKMAN (1993) baseados na atividade da enzima digestiva carbohidrase, criaram uma nova classificação para as guildas de oribatídeos: herbívoros, herbofungívoros, fungívoros (conteúdo celular e paredes celulares), fungívoros (apenas o conteúdo celular), e herbofungívoros oportunistas. SIEPEL e MAASKAMP (1994) sugerem que estas guildas afetam diferentemente o processo de decomposição, com os fungívoros (conteúdo e paredes celulares) por exemplo, estimulando o processo, e os fungívoros (apenas conteúdo celular) inibindo.

Por outro lado, alguns estudos indicam que, na verdade, muitos microartrópodes, inclusive espécies de ácaros oribatídeos, podem ser omnívoros, mudando seus hábitos tróficos com mudanças na disponibilidade de diferentes recursos, uma característica que dificulta o seu arranjo em grupos funcionais ou guildas alimentares (MOORE *et al.*, 1988; MUELLER e outros, 1990; WALTERS e outros, 1988).

A macrofauna do solo é representada por um grupo bastante diverso de organismos, tanto morfológicamente como comportamentalmente, incluindo, entre outros, os milípedes (*Miriapoda*), os besouros (*Insecta: Coleoptera*) os térmites (*Insecta: Isoptera*), as formigas (*Insecta: Hymenoptera: Formicidae*) e as minhocas (*Annelida: Lumbricidae*). Seu efeito sobre a ciclagem de nutrientes ocorre através da cominuição e enterramento de detritos e fragmentos de plantas, disponibilizando recursos para os microrganismos e mediando a transferência de solutos e particulados para camadas mais profundas do solo.

A macrofauna também afeta a ciclagem de nutrientes através da reorganização

física das partículas do solo, mudando a distribuição dos tamanhos dos poros e, como resultado, os padrões de infiltração e emissão de gases. Os efeitos das minhocas são bastante conhecidos, porém o papel desempenhado por formigas e térmitas pode ser igualmente importante (LOBRY e outros, 1990).

A cominuição ou redução do tamanho dos fragmentos pode aumentar a área exposta da folha em até 15 vezes (WITKAMP, 1971), com uma elevação da capacidade de retenção de umidade e uma redução de até um terço da evaporação nas pelotas fecais resultantes, em relação ao mesmo peso de serapilheira não processada. O material fecal da meso- e macrofauna geralmente tem forma globular ou cilíndrica, podendo mover-se para horizontes orgânicos inferiores por gravidade ou lavados (percolação), numa taxa mais rápida que a serapilheira original (WITKAMP, 1971).

A mudança da estratégia da fauna do solo é gradual e parece ocorrer como uma função do tamanho. Relativamente, a microfauna tem uma alta capacidade de adaptar-se a condições adversas, um potencial considerável para digerir qualquer tipo de substrato orgânico e uma mobilidade reduzida. A mesofauna tem uma mobilidade maior, uma alta capacidade para fragmentar e cominutar recursos em decomposição, mas uma habilidade reduzida para digerir substratos complexos. A macrofauna, finalmente, é móvel e hábil para misturar o solo e quebrar a separação física entre os microorganismos e as partículas orgânicas, mas comparativamente possui uma habilidade enzimática limitada (LAVELLE e outros, 1995).

Um tema central da ecologia atual é a questão da biodiversidade (WILSON, 1994), existindo uma preocupação crescente com outros grupos que não os do mundo dos vertebrados (WILSON, 1987). Estes grupos incluem a biota do solo (ANDERSON, 1975; BEARE e outros, 1995; LAVELLE e outros., 1995; STANTON, 1979; SIEPEL, 1996a,b; WARDLE e GILLER, 1996), a qual foi considerada por ANDRÉ *et al.* (1994) como “a outra última fronteira biótica”, em alusão ao artigo de ERWIN (1983), o qual considerou a fauna de artrópodes do dossel de florestas como sendo a última fronteira biótica para o estudo da biodiversidade. ANDRÉ e outros (1994) consideram que o solo, incluindo os horizontes mais profundos e a rizosfera, pode se constituir em uma reserva imensa para a biodiversidade.

Os solos contém algumas das comunidades terrestres com maior riqueza de espécies, podendo 1 m<sup>2</sup> de solo de floresta por exemplo, conter mais de 1000 espécies de animais, com densidades superiores a 10<sup>7</sup> de *Nematoda* e *Protozoa*, 10<sup>5</sup> de *Acari* e *Collembola* e 5 x 10<sup>4</sup> de outros invertebrados (ANDERSON, 1978). Uma grama deste mesmo solo pode apresentar 6-10 milhões de bactérias e 3000-4000 metros de hifas de fungos, representando várias centenas de espécies de microorganismos (ANDERSON, 1978).

A estabilidade do solo e a produtividade a longo prazo são dependentes da integridade da biota do solo (WHITFORD, 1996). A composição e a estrutura das comunidades bióticas do solo a um nível hierárquico podem influenciar a heterogeneidade espacial de recursos e áreas de refúgio a outros níveis hierárquicos, sendo através da formação desta estrutura espacial e temporalmente heterogênea que a biodiversidade do solo pode contribuir mais significativamente para o funcionamento dos ecossistemas (BEARE e outros, 1995; WHITFORD, 1996).

Apesar desta importância ecológica óbvia, os organismos do solo tem tido

uma influência negligível no desenvolvimento da teoria ecológica contemporânea (WARDLE e GILLER, 1996), sendo quase que completamente ignorados em sínteses literárias sobre teias alimentares (COHEN *et al.* 1990) e competição (SCHOENER, 1983; CONNELL, 1983), bem como em livros conceituados sobre ecologia de comunidades (por exemplo: PIMM, 1991, RICKLEFS e SCHLUTER, 1993). Uma exceção pode ser feita ao livro de ROSENWEIG (1995), o qual utiliza o trabalho de ANDERSON (1978) como um dos exemplos relacionando a diversidade de habitats e a biodiversidade.

Os solos ainda representam uma das maiores “caixas pretas” em estudos ecológicos (PAUL, 1989). Associado a esta ignorância, muitos processos antropogênicos a longo prazo (e em alguns, casos a curto prazo, como em áreas de mineração a céu aberto) tem alterado quase que completamente as características do solo e sua habilidade para suportar comunidades vegetais e animais. Exemplos de alterações antropogênicas no solo incluem a erosão e a perda de nutrientes após o cultivo ou após a derrubada de uma floresta, os efeitos da chuva ácida, a adição de fosfato e calcário, e o envenenamento tecnouímico do mundo pós-moderno, através de pesticidas e metais pesados.

Estas alterações antropogênicas causam enormes perdas de biodiversidade no solo (SIEPEL, 1996). A importância da inclusão da fauna de invertebrados do solo em projetos que tratam da conservação, proteção, avaliação de impactos sobre o meio ambiente e biomonitoramento foi reconhecida e reafirmada no workshop “Effects of Soil Pollution on Soil Invertebrate Fauna”, realizado no 3º Congresso Europeu de Entomologia (Amsterdã, agosto de 1986).

Diversos estudos vem sendo realizados em muitos países utilizando os microartrópodes como indicadores da qualidade do solo em agroecossistemas (por exemplo: AL-ASSIUTY e outros, 1994; BADEJO, 1990; BADEJO e LASEBIKAN, 1988; COLINAS e outros, 1994; EDWARDS, 1969; EDWARDS e LOFTY, 1969; FRANCHINI e ROCKETT, 1996; FRATELLO e outros, 1985; KING e HUTCHINSON, 1980; KROGH, 1991; LOUREIRO, 1975; MISHRA e outros, 1989; MUELLER e outros, 1990; NAKAMURA, 1989; SALMINEN e SULKAVA, 1996; SGARDELIS e USHER, 1994; SIEPEL e VAN DE BUND, 1988; WARDLE e outros, 1995).

Estudos nesse sentido também vem sendo realizados em solos contaminados por metais pesados, em áreas sob impacto de extração de diversos minerais ou em experimentos de laboratório (por exemplo: BENGTTSSON e outros, 1985; BIELSKA, 1982, 1989; DAVIS, 1963; DENNEMAN e VAN STRAALEN, 1991; DZIUBA e outros, 1990; HUTSON, 1980a,b, 1981; JANSSEN e outros, 1990; JANSSEN e outros, 1991; KOMULAINEN e MIKOLA, 1995; LUXTON, 1982; MADEJ, 1990; MADEJ e SKUBALA, 1996; MALTBY, 1990; MOORE e LUXTON, 1986; ROTH, 1993; STREIT, 1984; VAN STRAALEN e outros, 1987; VAN STRAALEN e outros, 1989; VASILIU e MIHAILESCU, 1990)

Alguns microartrópodes podem ser importantes indicadores da qualidade de solos degradados pelos efeitos da chuva ácida (HAGVAR, 1984; HAGVAR e KJONDAL, 1981; HENEGHAN e BOLGER, 1996; HEUNGENS e VAN DAELE, 1984; LARKIN e KELLY, 1987; VAN STRAALEN e outros, 1988).

Algumas espécies de ácaros oribatídeos (*Acari: Cryptostigmata*) também vem sendo utilizadas com sucesso no monitoramento de poluição aérea, principalmente dos níveis de SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> (ANDRÉ *et al.*, 1982; ANDRÉ e LEBRUN, 1984; WEIGMANN e KRATZ, 1987).

Os microartrópodes do solo também podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo em ambientes florestais sujeitos a diferentes tipos de uso e exploração humana (CANCELA DA FONSECA, 1990; GARAY e NATAF, 1982; MASSOT e CANCELA DA FONSECA, 1983).

Projetos de recuperação de áreas pós-mineradas e de depósitos de rejeitos de carvão (ELKINS e outros, 1983, ETTERS HANK e outros, 1978) vem utilizando a estruturação das assembléias de oribatídeos e de outros artrópodes do solo como índices no diagnóstico das melhores técnicas de recuperação.

No Brasil, mesmo a respeito de aspectos ecológicos básicos, existem poucos estudos sobre microartrópodes do solo, a maioria encontrando-se em estágios iniciais de desenvolvimento (por exemplo: ADIS e RIBEIRO, 1989; ANTONY, 1996; DUARTE, 1996a,b; DUARTE e BECKER, 1994; RIBEIRO e SCHUBART, 1989; SAUTTER, 1995; SILVA-PORTO e GARAY, 1996; USHIWATA e outros, 1995; VALLEJO e outros, 1987). Esta situação é contrastante com a enorme velocidade com que extensas áreas de terra vem transformando-se em áreas degradadas no País.

Os objetivos básicos do presente trabalho foram, primeiramente, proceder uma análise quali-quantitativa de microartrópodes do solo (*Acari* e *Collembola*) em áreas de disposição de sub-produtos carboníferos (cinzas e rejeitos), comparando com áreas de solos não perturbados. A partir desta análise, fornecer subsídios para uma avaliação ecológica da qualidade de solos afetados por mineração do carvão, especificamente dos solos da região de abrangência do PADCT-CIAMB/UFRGS. Complementarmente, o trabalho procurou contribuir para o conhecimento da fauna nativa de microartrópodes do solo, em áreas não perturbadas pela mineração.

## MATERIAL E MÉTODOS

Segundo o mapa de uso do solo reproduzido no Apêndice 4, os campos representam o elemento dominante ou a matriz da paisagem. Os elementos florestais da região encontram-se dispersos em fragmentos distintos, submetidos a diferentes pressões antrópicas, como corte seletivo de madeiras nobres, retirada de lenha, pisoteio e pastoreio de mudas pelo gado, substituição da cobertura vegetal nativa por lavouras de *Eucaliptus spp.* entre outros fatores (BALBUENO, 1997).

Devido à predominância do elemento campo dentro da estrutura da paisagem da microrregião carbonífera do baixo Jacuí e após uma série de expedições a campo para reconhecimento de áreas potenciais da microrregião, foram selecionadas três áreas de campo (Apêndice 4), de 1 ha cada, dentro de uma mesma fazenda de pecuária extensiva (propriedade do senhor C. Sperb), no município de Arroio dos Ratos, RS.

A primeira área amostrada (de agora em diante designada Campo-1) corresponde a uma área de campo sobre rejeitos de mineração de carvão, onde a vegetação vem desenvolvendo-se espontaneamente a mais de 30 anos sobre estes rejeitos. Um estudo fitossociológico desta área foi desenvolvido por D. Stobbe (mestranda do CPG-Ecologia/UFRGS) como sub-projeto do PADCT-CIAMB/UFRGS, sendo este um dos motivos de escolha desta área.

Na segunda área amostrada (de agora em diante Campo-2) a vegetação também vem desenvolvendo-se a mais de 30 anos sobre um pilha de rejeitos de carvão, desde a desativação da atividade carbonífera descrita anteriormente. O Campo-2 recebeu adicionalmente depósitos de cinzas de carvão. Os campos 1 e 2 são contíguos, existindo entre eles um desnível do terreno (cerca de 3 m), estando o Campo-1 na cota mais alta.

A terceira área amostrada (de agora em diante Campo-3) apresenta solo hidromórfico natural da região, nunca minerado ou utilizado para depósito de rejeitos, estando distante cerca de 800 m dos campos 1 e 2.

A composição florística dos campos 2 e 3 pode ser considerada similar àquela descrita por OLIVEIRA e BALBUENO (1999) para campos utilizados para a pecuária extensiva, atividade principal da fazenda a que pertencem.

Em 14 de abril de 1996 uma série de análises foram realizadas nos campos 1,2 e 3 visando uma caracterização físico-química do solo superficial (até 5 cm de profundidade). Nesta data, três unidades amostrais (com cerca de 0,5 kg de solo superficial cada uma) foram retiradas de cada um dos quatro estratos de cada campo (ver item 3.3: técnica de amostragem). O solo de duas unidades amostrais foi enviado ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS para realização de uma "análise básica do solo", onde os seguintes parâmetros foram analisados: pH, umidade relativa (a 105°C), percentual de matéria orgânica, percentual de argila, e os totais de Fósforo (P), Potássio (K), Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). O solo da terceira unidade amostral de cada estrato foi enviado ao Centro de Ecologia da UFRGS, onde uma análise da fração extraível dos metais: Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) foi realizada por Espectrofotometria de Absorção Atômica. Estes metais estão entre os mais comumente encontrados em níveis elevados em áreas de mineração e de depósito de rejeitos da microrregião carbonífera do baixo Jacuí.

### **Técnica de amostragem da fauna de microartrópodes do solo**

Uma amostragem aleatória-estratificada (FINNEY, 1956; CRÉPIN & JOHNSON, 1993) foi realizada em cada um dos três campos, subdividindo-se cada área de 1 ha em 4 estratos de 50 m X 50 m. Em cada um destes estratos 3 unidades amostrais de 7 cm de diâmetro por 5 cm de profundidade foram retiradas aleatoriamente do solo em quatro datas: 27/abril/1995 (outono), 14/agosto/1995 (inverno), 14/novembro/1995 (primavera) e 12/fevereiro/1996 (verão), totalizando em cada campo 12 unidades amostrais em cada data. A amostragem foi realizada sempre entre 09 h e 30 min e 11 h 30 min. Após a retirada do solo, cada unidade amostral foi acondicionada em saco plástico individual, etiquetada e mantida por cerca de 3 h em caixa térmica durante o transporte até o Laboratório de Entomologia-UFRGS, onde processou-se a extração dos microartrópodes em funís de Berlese-Tullgren modificados.

Para iniciar o processamento, cada unidade amostral é colocada intacta (solo mais cilindro coletor) dentro de um cesto, tendo-se o cuidado de colocá-la invertida com relação ao eixo vertical do solo, de maneira que os organismos que ocorrem nas camadas mais superficiais (teoricamente com menor habilidade para deslocar-se pelos poros do solo) fiquem na base do cesto, mais próximos dos funís coletores (EDWARDS

e FLECHTER, 1971). As amostras foram processadas durante seis dias, utilizando-se álcool etílico 70% como líquido coletor.

Os artrópodes do solo presentes em cada frasco coletor após os seis dias de extração foram triados exaustivamente sob microscópio estereoscópico, sendo posteriormente armazenados em álcool 70% com glicerol 5%. Todos os organismos coletados encontram-se depositados no Laboratório de Entomologia do Departamento de Zoologia da UFRGS.

Para a classificação dos diferentes grupos de artrópodes do solo a bibliografia básica utilizada foi: BAKER & WALKER (1956); BALOGH (1972); BALOGH & BALOGH (1988, 1990); BUZZY (1985); DINDAL (1990) e EISENBERG E WHICHARD (1991). Os indivíduos amostrados foram classificados dentro de 20 grupos: **Arachnida**: 1. *Acari: Cryptostigmata (oribatídeos)*; 2. *Acari: Mesostigmata (Gamasida + Uropodina)*; 3. *Acari: outros*; 4. *Araneae*; **Apterigota**: 5. *Collembola: Sminthuroidea*; 6. *Collembola: Poduromorpha*; 7. *Collembola: Isotomidae*; 8. *Collembola: Entomobryidae*; 9. *Diplura*; **Insecta**: 10. *Coleoptera: Staphylinidae*; 11. *Coleoptera: Scarabaeidae*; 12. *Coleoptera: outras famílias*; 13. *Coleoptera: larvas*; 14. *Hemiptera*; 15. *Hymenoptera: Formicidae*; 16. *Thysanoptera*; 17. *Isoptera*; 18. *Diptera: larvas*; **Crustacea**: 19. *Isopoda*; **Myriapoda**: 20. *Symphyla*.

## **Análise estatística dos dados**

Para a análise estatística, foram utilizados os três grupos de Acari (Cryptostigmata, Mesostigmata, Acari: outros) e três dos quatro grupos de Collembola (Poduromorpha, Isotomidae e Entomobryidae).

A abundância absoluta (raiz quadrada do número de indivíduos, de agora em diante referida como: abundância) e a abundância relativa (percentual em relação ao total de microartrópodes, de agora em diante referida como: percentual) destes seis grupos de microartrópodes do solo (Acari e Collembola) foram comparados entre os três campos nas quatro datas de amostragem através de uma análise multivariada, utilizando o programa MULTIV (PILLAR, 1998).

Dentre as opções do MULTIV, dois testes foram aplicados: um Teste de Aleatorização e uma Análise Exploratória (Ordenação, Análise de Coordenadas Principais) (PILLAR e ORLÓCI, 1996). Para ambos os testes uma matriz de semelhança foi gerada a partir da distância euclidiana entre as unidades amostrais consideradas.

Estes dois testes também foram aplicados para uma comparação dos 18 parâmetros físico-químicos entre os três campos, sendo que para esta comparação realizou-se uma centralização e normalização dos dados, em função das unidades diferentes dos diferentes parâmetros.

## **RESULTADOS**

### **Dados físico-químicos**

A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos nos três campos para os diversos parâmetros físico-químicos analisados na amostragem de 14/04/96. O pH do

Campo-1 variou entre 5,8-6,5 (média 6,2) com uma umidade entre 9-29% (média 15%). No Campo-2 o pH variou entre 4,8-5,6 (média 5,3) com uma umidade entre 13-60% (média 29%). No Campo-3 o pH variou entre 4,9-5,5 (média 5,4) com uma umidade entre 16-38% (média 26,5%).

O percentual de matéria orgânica foi praticamente o dobro no Campo-2 em relação aos outros dois campos, enquanto que o percentual de argila foi praticamente o dobro no Campo-3 em relação aos outros campos. Os níveis de Mg foram levemente superiores no Campo-3. Os níveis de Ca foram levemente superiores no Campo-2. Os níveis de K foram relativamente similares entre os campos 2 e 3, sendo menores no Campo-1. Os níveis de P foram mais elevados no Campo-1. Os níveis de Al foram mais altos no Campo-2. Os níveis de S foram menores no Campo-3 em relação aos dois campos sobre rejeitos. Com exceção do Ferro, com níveis mais elevados no Campo-3, e do Cromo, com níveis mais elevados no Campo-1, os demais metais apresentaram níveis médios e máximos mais elevados no Campo-2.

O resultado do teste de aleatorização indicou existirem diferenças significativas entre os três campos ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ) com relação aos 18 parâmetros físico-químicos analisados. A Figura 1 apresenta o diagrama de ordenação obtido pela Análise Exploratória (MULTIV), salientando as diferenças multivariadas encontradas entre os três campos em função dos 18 parâmetros físico-químicos. O eixo I da Figura 1, o qual respondeu por 44,2 % da variação dos dados, está positivamente correlacionado com Zn, Mn, Mg, K e umidade (quanto maior o valor do eixo, maiores os valores dos parâmetros), estando negativamente correlacionado com pH e P (quanto menor o valor do eixo maiores os valores dos parâmetros). Este primeiro eixo distinguiu claramente o Campo-1 dos demais. O eixo II da Figura 1, o qual foi responsável por 24,5 % da variação dos dados, está positivamente correlacionado com S, Ni, Ca, Hg, matéria orgânica e Cu, estando negativamente correlacionado com argila e Fe, separando claramente o Campo-3 dos demais.

**Tabela 1**

Valores médios de 18 parâmetros físico-químicos obtidos do solo superficial (até 5 cm de profundidade) de três áreas de campo no município de Arroio dos Ratos, RS. Amostragem realizada em 16/4/1996.

	Campo-1	Campo-2	Campo-3
Alumínio (me.dl-l)	0	0,66	0,36
Argila (%)	8,37	8,37	17,75
Cádmio (mg.l-l)	21,24	43,4	40,4
Cálcio (me.dl-l)	4,77	6,65	4,11
Cobre (mg.kg-l)	1,98	3,65	2,09
Cromo (mg.kg-l)	0,25	0,15	0,08
Enxofre (ppm)	8,73	8,75	6,3

(continuação da tabela 1)

	Campo-1	Campo-2	Campo-3
Ferro (mg.kg <sup>-1</sup> )	70,23	116,36	211,41
Fósforo (ppm)	43,87	9,25	9,75
Magnésio (me.dl <sup>-1</sup> )	0,64	1,85	2,15
Manganês(mg.kg <sup>-1</sup> )	9,35	19,75	15,96
Mat. Orgânica (%)	3,46	8,5	4,3
Mercurio (mg.l <sup>-1</sup> )	29,22	41,06	24,87
Níquel (mg.kg <sup>-1</sup> )	1,14	2,39	0,73
pH	6,2	5,3	5,4
Potássio (ppm)	183,38	295,75	263,5
Umidade (%)	15	29	26,5
Zinco (mg.kg <sup>-1</sup> )	9,68	38,27	30,42

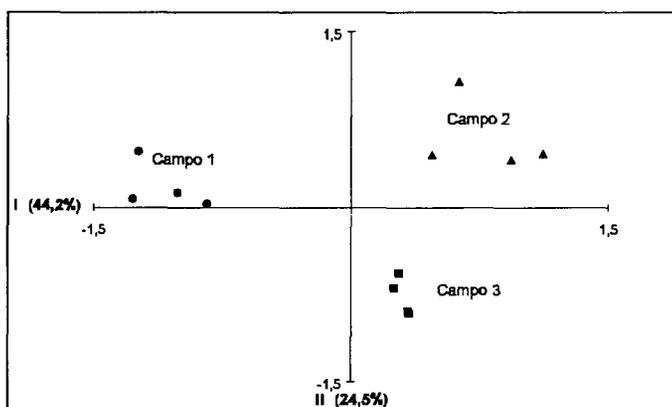


Figura 1. Diagrama de ordenação (MULTIV) de 4 estratos de três áreas de campo em Arroio dos Ratos, RS, em função de 18 parâmetros físico-químicos. Campo-1 = campo sobre rejeitos de mineração. Campo-2 = campo sobre rejeitos de mineração + cinzas de carvão. Campo-3 = campo sobre solo natural. Descritores originais com coeficientes de correlação mais altos: eixo I = Zn (0,94), pH (-0,91), Mn (0,89), P (-0,86), Mg (0,84), K (0,84), umidade (0,82); eixo II = argila (-0,89), S (0,77), Ni (0,72), Ca (0,71), Hg (0,71), Fe (-0,62), matéria orgânica (0,55), Cu (0,55).

## Fauna do solo

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a densidade média (indivíduos.m<sup>-2</sup>) e o percentual médio de 18 grupos de artrópodes do solo amostrados nos campos 1, 2 e 3, respectivamente, nas quatro datas de amostragem.

Juntos, os microartrópodes (Acari e Collembola) representaram mais de 80% da fauna amostrada no solo dos três campos em todas as datas, com os ácaros oribatídeos representando o grupo amplamente dominante entre os microartrópodes.

As densidades registradas no Campo-3 para os oribatídeos estão dentro da faixa de abundância registrada por PETERSEN e LUXTON (1982) para campos temperados. Nos campos sobre rejeitos as densidades foram bastante inferiores, embora percentualmente similares em algumas datas.

Existiu uma diminuição acentuada ao longo das estações na densidade média de oribatídeos no Campo-3, com um máximo no outono e um mínimo no verão. O percentual médio de oribatídeos entretanto, foi maior na primavera. Nos campos 1 e 2 as densidades de oribatídeos não variaram muito entre as quatro datas, existindo porém diferenças percentuais em relação à fauna total.

Os mesostigmatídeos apresentaram uma tendência diferenciada entre o Campo-3 e os campos sobre rejeitos. No Campo-3 a densidade média e o percentual médio de Mesostigmata diminuíram acentuadamente do outono para a primavera, enquanto que nos campos sobre rejeitos ocorreu um aumento na densidade e no percentual do outono para o verão. Além disso, os percentuais médios de Mesostigmata foram mais elevados nos campos sobre rejeitos, atingindo mais de 20% no Campo-2 no verão.

Os percentuais do grupo Acari: outros também foram marcadamente maiores nos campos sobre rejeitos em relação ao Campo-3. Apenas no outono a densidade média deste grupo foi claramente maior no Campo-3. No Campo-1 houve um aumento gradual no percentual médio deste grupo do outono para o verão, enquanto que nos campos 2 e 3 houve uma diminuição acentuada no inverno.

Os colêmbolos Poduromorpha foram abundantes no Campo-3 no outono e no inverno, diminuindo o percentual médio até a primavera. Nos campos 1 e 2 Poduromorpha não atingiu 1% dos microartrópodes em nenhuma data de amostragem, apresentando uma pequeno pico de indivíduos no inverno.

Os colêmbolos Isotomidae apresentaram uma abundância significativamente maior no Campo-2, principalmente no inverno e no verão, quando o percentual médio chegou a 10,2 e 5,1 respectivamente. Nos campos 1 e 3 o percentual de isotomídeos não ultrapassou os 3 % em nenhuma ocasião.

A densidade média de Entomobryidae foi maior no Campo-3 em relação aos campos sobre rejeitos nas quatro datas, principalmente no outono. O percentual destes colêmbolos, entretanto, não ultrapassou os 2 % em nenhuma data de amostragem nos três campos.

**Tabela 2**

Densidade média (indivíduos.m<sup>-2</sup>) e percentual médio (%) dos grupos de artrópodes do solo amostrados no Campo-1 (campo sobre rejeitos de mineração) nas quatro datas de amostragem. Arroio do Ratos, RS.

GRUPO	25 de abril de 1995		14 de agosto de 1995		14 de novembro de 1995		12 de fevereiro de 1996	
	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%
ARACHNIDA								
<i>Acari</i>								
<i>Cryptostigmata</i>	13.542	79,5	16.943	76,3	11.917	65,4	16.272	67,1
<i>Mesostigmata</i>	932	4,8	1.473	5,1	1538	12,2	3.965	16,5
Acari: outros	888	5,5	1560	7,4	2318	14,3	2.275	10,2
<i>Atanaco</i>	87	0,0	65	0,6	22	0,2	22	0,1

(continuação da tabela 2)

GRUPO	25 de abril de 1995		14 de agosto de 1995		14 de novembro de 1995		12 de fevereiro de 1996	
	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%
APTERIGOTA								
<i>Collembola</i>								
Sminturoidea	0	0,0	0	0,0	0	0,0	22	0,1
Poduromorpha	0	0,0	152	0,7	0	0,0	0	0,0
Isotomidade	347	2,8	325	1,3	65	0,2	173	0,6
Entomobryidae	65	0,3	238	1,1	173	1,2	217	1,1
<i>Diptera</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
INSECTA								
<i>Coleoptera</i>								
Staphylinidae	0	0,0	22	0,2	22	0,3	0	0,0
Scarabaeidae	130	1,2	173	0,2	22	0,3	65	0,0
Outros	108	0,6	195	2,2	65	1,7	217	1,2
Larvas de Coleoptera	347	2,3	780	2,2	195	1,7	238	1,2
<i>Hemiptera</i>	498	1,8	478	0,9	87	0,4	238	1,3
<i>Thysanoptera</i>	87	0,4	693	2,4	282	3,6	22	0,2
Larvas de Diptera	0	0,0	65	0,3	0	0,0	0	0,0
CRUSTACEA								
<i>Isopoda</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
MIRIAPODA								
<i>Symphyla</i>	0	0,0	22	0,0	0	0,0	43	0,1

**Tabela 3**

Densidade média (indivíduos.m<sup>-2</sup>) e percentual médio (%) dos grupos de artrópodes do solo amostrados no Campo-2 (campo sobre rejeitos de mineração + cinzas de carvão) nas quatro datas de amostragem. Arroio dos Ratos, RS.

GRUPO	25 de abril de 1995		14 de agosto de 1995		14 de novembro de 1995		12 de fevereiro de 1996	
	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%
ARACHNIDA								
<i>Acari</i>								
Cryptostigmata	15.535	65,8	16.358	54,1	14.452	63,3	13.520	52,9
Mesostigmata	2.037	10,3	4.355	15,4	3.813	16,2	5.395	21,4
Acari: outros	1.582	11,4	910	3,2	1.798	11,2	2.860	12,8
<i>Aranese</i>	22	0,1	65	0,3	87	0,0	22	0,3
APTERIGOTA								
<i>Collembola</i>								
Sminturoidea	43	0,7	0	0,0	43	0,2	0	0,0
Poduromorpha	0	0,0	347	0,8	65	0,3	87	0,3
Isotomidade	347	1,7	3.077	10,2	303	1,3	1.668	5,1
Entomobryidae	238	2,0	455	1,8	87	0,4	65	0,3
<i>Diptera</i>	0	0,0	22	0,1	0	0,0	0	0,0
INSECTA								
<i>Coleoptera</i>								
Staphylinidae	152	0,2	22	0,1	22	0,1	0	0,0
Scarabaeidae	87	0,6	108	0,4	43	0,2	0	0,0
Outros	87	0,2	260	1,1	152	0,6	65	0,4
Larvas de Coleoptera	325	2,0	1.018	3,1	195	1,0	520	1,8

(continuação da tabela 3)

GRUPO	25 de abril de 1995		14 de agosto de 1995		14 de novembro de 1995		12 de fevereiro de 1996	
	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%
<i>Hemiptera</i>	932	3,8	1.755	4,9	758	3,0	953	2,6
<i>Thysanoptera</i>	87	0,6	498	2,6	238	1,5	173	0,5
Larvas de Diptera	43	0,6	455	2,0	0	0,0	130	1,0
CRUSTACEA								
<i>Isopoda</i>	0	0,0	0	0,0	43	0,0	0	0,0
MIRIAPODA								
<i>Symphyla</i>	0	0,0	0	0,0	43	0,0	130	0,0

**Tabela 4**

Densidade média (indivíduos.m<sup>-2</sup>) e percentual médio (%) dos grupos de artrópodes do solo amostrados no Campo-3 (campo sobre solo natural) nas quatro datas de amostragem. Arroio dos Ratos, RS.

GRUPO	25 de abril de 1995		14 de agosto de 1995		14 de novembro de 1995		12 de fevereiro de 1996	
	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%	ind.m-2	%
ARACHNIDA								
<i>Acarzi</i>								
Cryptostigmata	42.445	67,3	38.285	74,8	28.730	80,3	20.150	62,2
Mesostigmata	6.522	18,8	4.658	8,2	2.578	6,8	3.900	11,4
Acarzi: outros	3.033	5,1	867	1,7	1.668	5,4	2.210	6,6
<i>Araneae</i>	43	0,0	22	0,0	43	0,1	65	0,2
APTERIGOTA								
Collembola								
Sminturoidea	43	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Poducomorpha	4.853	5,3	1820	3,3	217	0,6	303	1,0
Isotomidae	477	0,8	542	1,2	542	1,5	498	1,7
Entomobryidae	997	1,8	542	1,1	152	0,4		0,8
<i>Diptera</i>	65	0,1	0	0,0	0	0,0	22	0,0
INSECTA								
<i>Coleoptera</i>								
Staphylinidae	108	0,1	43	0,1	108	0,4	65	0,2
Scarabaeidae	195	0,3	152	0,4	43	0,1	22	0,1
Outros	347	0,5	152	0,3	43	0,2	0	0,0
Larvas de Coleoptera	260	0,3	152	0,3	628	2,4	455	1,5
<i>Hemiptera</i>	2.903	5,0	4.182	7,2	347	1,5	5720	13,3
<i>Thysanoptera</i>	867	1,4	542	1,3	0	0,0	628	*
Larvas de Diptera	152	0,3	0	0,1	43	0,1	130	0,5
CRUSTACEA								
<i>Isopoda</i>	43	0,1	0	0,0	0	0,0	22	0,1
MIRIAPODA								
<i>Symphyla</i>	195	0,4	87	0,1	22	0,1	195	0,4

O resultado do teste de aleatorização (MULTIV) comparando o Campo-1 nas quatro datas de amostragem, indicou não existirem diferenças significativas entre as quatro datas com relação à abundância dos microartrópodes ( $p = 0,062$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Estas diferenças também não foram significativas no Campo-2 ( $p = 0,285$ ;  $\alpha = 0,05$ ). No

Campo-3 existiram diferenças significativas entre as quatro datas ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Porém não existiram diferenças significativas entre outono x inverno ( $p = 0,11$ ;  $\alpha = 0,05$ ) e entre primavera x verão ( $p = 0,142$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Existiram diferenças significativas entre os três campos nas amostragens de outono ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ), inverno ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ) e primavera ( $p = 0,005$ ;  $\alpha = 0,05$ ) com relação à abundância dos microartrópodes, sendo que no outono e na primavera a diferença não foi significativa entre os dois campos sobre rejeitos ( $p = 0,713$  e  $p = 0,217$ , respectivamente;  $\alpha = 0,05$ ). Não existiram diferenças significativas entre os três campos na amostragem de verão com relação à abundância dos microartrópodes ( $p = 0,109$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Quando são usadas na comparação as 48 unidades amostrais de cada campo (outono+inverno+primavera+verão), as diferenças foram significativas ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Estas diferenças entre os três campos podem ser visualizadas de maneira sintetizada na Figura 2, correspondente ao diagrama de dispersão obtido pela Análise Exploratória (Ordenação, Coordenadas Principais). Nesta análise, ao invés dos valores de abundância das 48 unidades amostrais, foi utilizada a média em cada um dos quatro estratos de cada campo, em cada data ( $n = 3$  em cada estrato).

O eixo I da Figura 2, o qual foi responsável por 66,2% da variação dos dados, está positivamente correlacionado com os ácaros oribatídeos (0,97) e com os colêmbolos Poduromorpha (0,75), ou seja, quanto mais positivo o eixo, maiores as densidades destes dois grupos. O eixo II, responsável por 13,1% da variação dos dados, está correlacionado negativamente com Isotomidae (-0,73) e Mesostigmata (-0,68), ou seja, quanto mais negativo este eixo, maiores as densidades destes dois grupos.

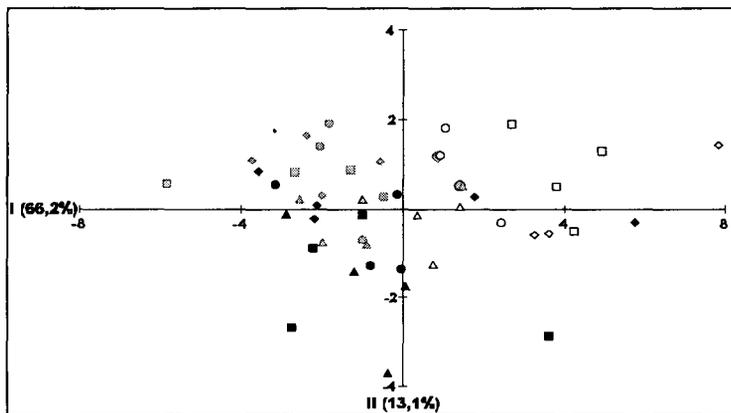


Figura 2. Diagrama de Ordenação (MULTIV) dos 04 estratos dos campos 1 (○), 2 (●) e 3 (◻) nas quatro datas de amostragem (◆ = 25/04/95; ■ = 14/08/95; ● = 14/11/95; ▲ = 12/02/96), com relação a abundância de seis grupos de microartrópodes do solo (Acari e Collembola). Matriz de semelhança = distancia euclidiana entre estratos. Descritores originais com coeficientes de correlação mais altos: Eixo-1 = Cryptostigmata (0,97) e Poduromorpha (0,75); Eixo-2 = Isotomidade (-0,73) e Mesostigmata (-0,69). dados, está correlacionado negativamente com Isotomidae (-0,73) e Mesostigmata (-0,68), ou seja, quanto mais negativo este eixo, maiores as densidades destes dois grupos.

Os 12 estratos de outono, inverno e primavera do Campo-3 aparecem nitidamente diferenciados na Figura 2, estando positivamente correlacionados com o eixo I (maiores densidades de oribatídeos e Poduromorpha). Os 4 estratos de verão do Campo-3, quando não existiram diferenças significativas entre os campos, já não encontram-se tão diferenciados.

A Figura 2 também evidencia o fato de não existirem diferenças significativas entre as quatro datas de amostragem no Campo-1 e no Campo-2. Apesar de não existirem diferenças significativas entre estes dois campos, a maioria dos estratos do Campo-2, principalmente os de outono e verão, apresentaram uma correlação negativa com o eixo-2 (maiores densidades de Isotomidae e Mesostigmata). A maioria dos estratos do campo-1 apresentaram uma correlação positiva com o eixo-2.

Existiram diferenças significativas entre as quatro datas de amostragem no Campo-1 com relação ao percentual dos diferentes grupos de microartrópodes ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Porém não existiram diferenças significativas entre outono x inverno ( $p = 0,603$ ;  $\alpha = 0,05$ ) e entre primavera x verão ( $p = 0,359$ ;  $\alpha = 0,05$ ). No Campo-2 as diferenças entre as quatro datas de amostragem não foram significativas também em termos percentuais ( $p = 0,094$ ;  $\alpha = 0,05$ ). No Campo-3 as diferenças percentuais foram significativas entre as datas de amostragem ( $p = 0,003$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Porém não existiram diferenças significativas entre outono x verão ( $p = 0,375$ ;  $\alpha = 0,05$ ) e entre inverno x primavera ( $p = 0,428$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

A comparação do percentual dos microartrópodes entre os três campos indicou existirem diferenças significativas no outono ( $p = 0,02$ ;  $\alpha = 0,05$ ), no inverno ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ), na primavera ( $p = 0,002$ ) e no verão ( $p = 0,025$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Porém não houveram diferenças significativas entre os campos 2 e 3 no outono ( $p = 0,276$ ;  $\alpha = 0,05$ ), entre os campos 1 e 3 no inverno ( $p = 0,392$ ;  $\alpha = 0,05$ ) e no verão ( $p = 0,508$ ;  $\alpha = 0,05$ ), e entre os campos 1 e 2 na primavera ( $p = 0,533$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Quando as 48 unidades amostrais de cada campo são utilizadas na comparação, as diferenças foram significativas, porém não entre os campos 1 e 3 ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Estes resultados podem ser melhor visualizados na Figura 3, que representa o diagrama de dispersão obtido da Análise Exploratória (Ordenação, Coordenadas Principais). Nesta análise, ao invés dos valores de abundância das 48 unidades amostrais, foi utilizada a média em cada um dos quatro estratos de cada campo em cada data ( $n = 3$  em cada estrato).

O eixo I da Figura 3, o qual foi responsável por 72 % da variação dos dados, está negativamente correlacionado com os oribatídeos (-0,99) e positivamente correlacionado com Mesostigmata (0,86), ou seja, quanto maior o valor do eixo, menor o percentual de oribatídeos e maior o percentual de Mesostigmata. O eixo II, o qual respondeu por 13,3 % da variação dos dados, está negativamente correlacionado com o grupo Acari: outros (-0,86) e positivamente correlacionado com Isotomidae (0,59), ou seja, quanto maior o valor do eixo, menor o percentual de Acari: outros e maior o percentual de Isotomidae.

Os estratos dos campos 1 e 3 estão na sua maioria negativamente correlacionados com o eixo I (percentual maior de oribatídeos, percentual menor de Mesostigmata), embora alguns estratos do Campo-1, principalmente da amostragem de verão, estejam

nitidamente correlacionados com maiores percentuais de Mesostigmata (correlação positiva com o eixo I).

Os estratos do Campo-2 estão na sua maioria positivamente correlacionados com o eixo I (menor percentual de oribatídeos, maior percentual de Mesostigmata). Entre os estratos de outono, primavera e verão do Campo-2 alguns se correlacionaram positivamente e outros negativamente como o eixo-2, enquanto que os 4 estratos de inverno indicam claramente o baixo percentual de Acari: outros e o maior percentual de Isotomidae no Campo-2 nesta data.

Uma última comparação foi realizada entre os três campos reunindo os 18 parâmetros físico-químicos e os valores de abundância dos 06 grupos de microartrópodes na amostragem de outono. O resultado do teste de aleatorização mostrou existirem diferenças significativas entre os três campos quando as 24 variáveis são comparadas ( $p = 0,001$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

A Figura 4 apresenta o diagrama de ordenação desta última comparação, mostrando claramente as diferenças entre os campos.

O eixo I da Figura 4, responsável por 40,3 % da variação dos dados, está positivamente correlacionado com Mg (0,90), Mesostigmata (0,86), Zn (0,79), umidade (0,79), Entomobryidae (0,77), K (0,73), Acari: outros (0,71) e Cryptostigmata (0,71).

O eixo II da Figura 4, responsável por 25,9 % da variação dos dados, está positivamente correlacionado com matéria orgânica (0,88), Ni (0,81), Hg (0,77), Ca (0,72) e Cu (0,66), estando negativamente correlacionado com argila (-0,64) e Cryptostigmata (-0,63).

A partir dos resultados expostos, podemos caracterizar comparativamente o Campo-1 como um campo mais seco, com um pH menos ácido, níveis mais elevados de

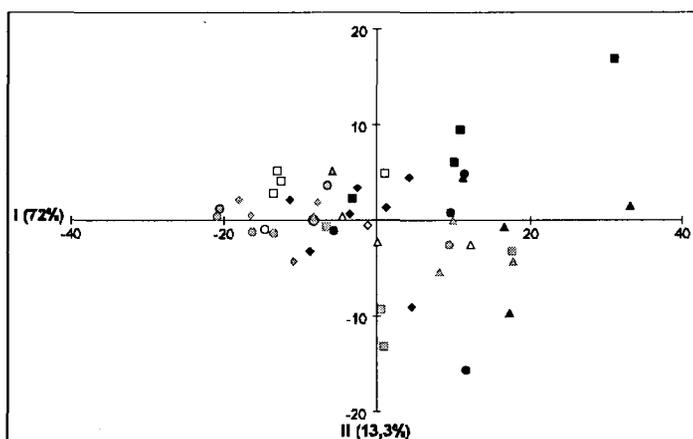


Figura 3. Diagrama de Ordenação (MULTIV) dos 04 estratos dos campos 1 (○), 2 (●) e 3 (□) nas quatro datas de amostragem (◆ = 25/04/95; ■ = 14/08/95; ● = 14/11/95; ▲ = 12/02/96), com relação ao percentual de seis grupos de microartrópodes do solo (Acari e Collembola). Matriz de semelhança = distância euclidiana entre estratos. Descritores originais com coeficientes de correlação mais altos: Eixo-1 = Cryptostigmata (-0,99) e Mesostigmata (0,87); Eixo-2 = Acari: outros (-0,86) e Isotomidade (0,59).

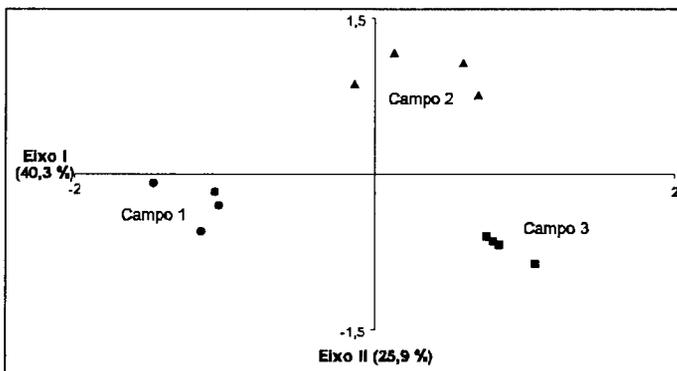
Cromo extraível e Fósforo total, cobertura vegetal esparsa e espessura dos horizontes orgânicos muitas vezes inferiores a 5 cm, baixas densidades de microartrópodes sem grandes flutuações sazonais, além de percentuais elevados de Mesostigmata e de Acari: outros na primavera e no verão.

Apesar do maior percentual de matéria orgânica, uma cobertura vegetal densa e espessura dos horizontes orgânicos superior a 5 cm, o Campo-2 apresentou níveis mais elevados de vários metais, principalmente Alumínio total, Cobre, Níquel e Mercúrio extraíveis, além de baixas densidades de microartrópodes sem grandes flutuações sazonais, um percentual elevado de Mesostigmata, Acari: outros e Isotomidae.

O Campo-3 apresentou uma cobertura vegetal densa e espessura dos horizontes orgânicos superior a 5 cm, um percentual maior de argila e níveis mais elevados Ferro e Magnésio, além de densidades de microartrópodes bem mais elevadas com uma nítida variação sazonal, principalmente de Cryptostigmata e Poduromorpha .

Além dos resultados apresentados acima, outras diferenças entre os campos amostrados dizem respeito à diversidade de espécies de ácaros oribatídeos. Nos campos sobre rejeitos, duas espécies de Oribatuloidea são amplamente dominantes, indicando uma provável maior tolerância destas espécies aos níveis mais elevados de metais pesados nestes campos.

No campo nativo estas duas espécies também ocorrem com abundância, porém outras espécies, principalmente de Oppioidea e Galumnoidea também são abundantes. Algumas espécies ocorreram exclusivamente no campo nativo, podendo teoricamente serem espécies mais sensíveis aos metais pesados. Entre estas espécies destaca-se *Cyrtthermannia sp.*, que obteve densidades bastante significativas no outono e inverno (cer-



**Figura 4.** Diagrama de ordenação (MULTIV) de 4 estratos de três áreas de campo em Arroio dos Ratos, RS, em função de 18 parâmetros físico-químicos e 6 grupos de microartrópodes do solo. Campo-1 = campo sobre rejeitos de mineração. Campo-2 = campo sobre rejeitos de mineração + cinzas de carvão. Campo-3 = campo sobre solo natural. Descritores originais com coeficientes de correlação mais altos: **Eixo I** = pH (-0,95), Mg (0,90), P (-0,86), Mesostigmata (0,86), Zn (0,79), umidade (0,79), Entomobryidae (0,77), K (0,73), Prostigmata (0,71), Cryptostigmata (0,71) **Eixo II** = matéria orgânica (0,88), Ni (0,81), Hg (0,77), Ca (0,72), Cu (0,66), argila (-0,64), Cryptostigmata (-0,63).

ca de 6.000 ind.m<sup>-2</sup>) diminuindo drasticamente no verão, seguindo o padrão dos oribatídeos como um grupo.

Foram registradas até o momento 29 morfoespécies de oribatídeos nos campos 1 e 2 (sendo duas amplamente dominantes). No Campo-3, até o momento foram registradas 39 morfoespécies. Estes resultados são preliminares e apenas indicadores de uma tendência, uma vez que os recursos necessários para um estudo mais aprofundado das questões sistemáticas envolvendo os ácaros oribatídeos, apesar de previstas no projeto original, não foram liberados pelo PADCT-CIAMB/UFRGS, devido a reduções orçamentárias, entre outras questões burocráticas.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A extração de carvão pela mineração de superfície, resulta em um substrato que difere significativamente dos solos não perturbados quanto à sua atividade biológica. SRIVASTAVA & SINGH (1991) estudando o Carbono (C), Nitrogênio (N) e Fósforo (P) microbiano do solo de sistemas de floresta nativa, pastagens artificiais, culturas agrícolas e de mineração de carvão de superfície na Índia, encontraram estes três parâmetros de biomassa microbiana (C, N e P) em concentrações muito baixas na área minerada em relação aos demais sistemas.

Srivastava (1989, *apud* SRIVASTAVA & SINGH, 1991) encontrou uma relação direta entre a idade dos rejeitos de carvão e as concentrações de C, N e P microbiano, sugerindo ser a biomassa microbiana um fator crítico na recuperação de áreas de rejeito de mineração e também um “índice funcional” para um posterior desenvolvimento do solo. Resultados similares foram obtidos por KLUBEK *et al.* (1992). Estes autores sugerem que a abundância, a diversidade e a atividade dos microorganismos aumenta com o aumento da idade das pilhas de cinzas e/ou rejeitos.

A composição das cinzas e rejeitos de carvão varia de acordo com o tipo de carvão que é utilizado. As cinzas principalmente, podem conter altas concentrações de muitos nutrientes essenciais para as plantas, com exceção do Nitrogênio (ADRIANO *et al.*, 1980), podendo com isso beneficiar o processo de recobertura vegetal do solo.

WONG e WONG (1986) porém, relatam uma diminuição da respiração microbiana com o aumento da quantidade de cinzas adicionadas a dois tipos de solo. KOMULAINEN e MIKOLA (1995) estudando a influência de metais pesados (Cu e Ni) sobre os processos do solo, relatam que as taxas de respiração e nitrificação foram significativamente afetadas pelos metais, com taxas mais baixas no solo contaminado.

TYLER (1974, 1975, 1976) afirma que altas concentrações de metais pesados na serapilheira são inibitórias para a atividade dos decompositores. Estas altas concentrações retardam processos tais como a mineralização de Carbono e Nitrogênio, decomposição da celulose e amido e a atividade enzimática.

Uma decomposição mais lenta também foi registrada em uma área contaminada por Pb e Zn, com relação a uma pastagem adjacente não contaminada na Inglaterra (WILLIAMS *et al.*, 1977). Estes autores registraram para a área contaminada uma maior acumulação de serapilheira, menor formação de húmus, uma redu-

zida atividade de urease do solo, além de menores populações de microorganismos e microartrópodes.

O trabalho de WILLIAMS *et al.* (1977) vem de encontro aos resultados obtidos no presente estudo. Enquanto o Campo-1 apresenta diferenças significativas em termos de pH, umidade e cobertura vegetal, o Campo-2 possui valores similares para estes parâmetros em relação ao Campo-3. O campo-2 entretanto, apresentou praticamente o dobro do percentual de matéria orgânica e uma fauna de microartrópodes, principalmente de ácaros oribatídeos, reduzida a um terço, em relação ao Campo-3 (campo nativo).

Estes três fatores, pH, umidade e matéria orgânica, são os principais determinantes da abundância dos microartrópodes do solo. Em condições de pH e umidade similares, como nos campos 2 e 3, era de se esperar que o campo com maior percentual de matéria orgânica também apresentasse uma abundância maior de microartrópodes (BURGHOUTS e outros, 1992; ITURRONDOBEITIA e SALOÑA, 1991; PLOWMAN, 1981; SEADSTED e CROSSLEY, 1981; TOUSIGNANT e CODERRE, 1992).

Os níveis mais elevados de vários metais no Campo-2, parecem estar influenciando negativamente a velocidade dos processos de decomposição neste campo, através de efeitos tóxicos sobre a fauna de microartrópodes do solo.

O Campo-2 apresentou uma maior abundância de Isotomidae, sendo que estes colêmbolos parecem ser mais tolerantes que outros grupos de microartrópodes a ambientes poluídos por metais e SO<sub>2</sub> (CURRY e MOMEN, 1988; DAVIS, 1963; HUTSON, 1980, 1981; MOORE e LUXTON, 1986; VAN STRAALLEN e outros, 1988).

BENGTSSON *et al.* (1985) relatam que altas concentrações de Pb e Cu podem ter conseqüências significativas para a persistência a longo prazo de *Onychiurus armatus* (Poduromorpha: Onychiuridae) em solos poluídos com metais. Poduromorpha como um grupo foi praticamente ausente nos campos sobre rejeitos do presente estudo.

O percentual mais elevado de Mesostigmata nos campos sobre rejeitos vem de encontro com o estudo realizado por DZIUBA e outros (1990), que acompanharam um decréscimo na abundância e na diversidade de ácaros de biótopos degradados da Polônia. Nesse estudo, uma diminuição na densidade de oribatídeos foi acompanhada por um aumento proporcional de mesostigmatídeos (até 35% do total de ácaros) principalmente em ecossistemas florestais degradados.

DZIUBA e outros (1990) sugerem que estas irregularidades são indicativos de uma redução dos processos naturais de decomposição e mineralização e, conseqüentemente, de um aumento na degradação dos sistemas afetados.

A maior abundância do grupo Acari: outros (composto por Prostigmata e Astigmata) também encontra suporte na literatura. Muitos prostigmatídeos são dominantes em estágios pioneiros (SANTOS e outros, 1981; SANTOS e WHITFORD, 1981), sendo que HUTSON (1980) relata que Astigmata e várias famílias de Prostigmata foram amplamente dominantes em pilhas de rejeitos de carvão na Inglaterra, principalmente em sítios em estágios iniciais de recuperação.

Todos os organismos respondem aos estímulos ambientais e aos estresses de uma maneira hierárquica. A resposta inicial tende a ser comportamental (ventilação mais rápida, deslocamento para longe); se o estresse não for eliminado, mudanças bioquímicas e fisiológicas podem ocorrer. Se o estresse persiste, os parâmetros populacionais, tais

como fecundidade, mortalidade e dispersão podem ser afetados, causando posteriormente modificações na composição genética da população. Reduções severas nas populações de algumas espécies podem resultar em mudanças na composição da comunidade, as quais podem ser irreversíveis.

Segundo GREEN e outros (1989) os seguintes pré-requisitos são necessários para qualquer grupo de organismos ser utilizado como um sistema de resposta biológica no monitoramento de padrões espaciais e/ou temporais de determinado poluente:

(a) um grande número de espécies deve estar presente em abundância em todas as regiões da área a ser monitorada.

(b) estes organismos devem responder às alterações ambientais a diferentes níveis hierárquicos (um único tipo de resposta pode não ser suficiente, sendo que uma bateria de respostas cobrindo diferentes níveis hierárquicos e correspondentemente diferentes períodos de resposta podem ser requeridos, dependendo da escala temporal de interesse).

(c) ao menos algumas espécies do grupo, comuns e amplamente distribuídas, devem ter um ciclo de vida relativamente longo e hábitos relativamente sedentários.

(d) os organismos devem ser fáceis de amostrar no campo e apropriados para experimentos de laboratório.

O microartrópodes do solo, devido à sua alta diversidade e à sua elevada densidade em muitos ambientes, podem ser úteis na caracterização de sistemas ecológicos sujeitos a diferentes perturbações (NIEDBALA e outros, 1982), preenchendo praticamente todos os requisitos propostos por GREEN e outros (1989), pois além da alta abundância e diversidade, são organismos relativamente sedentários, fáceis de amostrar no campo, com muitas espécies mostrando-se apropriadas para experimentos de laboratório.

Além dos resultados de campo obtidos no presente trabalho, diversos estudos, a nível fisiológico, populacional e de estruturação das comunidades de microartrópodes do solo, principalmente dos ácaros oribatídeos, vem comprovando este potencial no mundo todo.

SIEPEL (1996) relata que o declínio da biodiversidade de microartrópodes do solo não é uma perda aleatória de espécies, seguindo na verdade um padrão identificável, com mudanças definidas na distribuição dos diferentes tipos de história de vida na comunidade e na distribuição das guildas alimentares, entre outras.

VAN STRAALLEN e outros, (1989) estudaram as conseqüências populacionais da toxicidade de Cd em *Orchesella cincta* (Collembola: Entomobryidae) e *Platynothrus peltifer* (Acari: Cryptostigmata). Estes autores relatam que estas duas espécies representam dois pontos distintos entre as histórias de vida da comunidade do solo. *O. cincta* tem um ciclo de vida curto, sendo altamente fértil. *P. peltifer* tem um ciclo de vida longo, com baixa fertilidade. Estes autores concluíram que o Cd não afeta *O. cincta* diretamente, sendo sua reprodução reduzida apenas em função de seus efeitos sobre o crescimento individual. Com relação a *P. peltifer* o Cd tem um efeito inibidor sobre a reprodução, principalmente pela alteração causada no metabolismo do Zn.

Estes autores demonstraram assim que os efeitos a longo prazo são distintos para populações destas duas espécies, em função de diferenças na taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r$ ), com uma tendência das populações de *P. peltifer* extinguirem-se em uma taxa mais rápida em ambientes poluídos.

DENNEMAN e VAN STRAALLEN (1991) encontraram resultados similares sobre a reprodução de *P. peltifer* com relação ao Cu e ao Pb. Estes autores relatam que com relação ao Cu a sensibilidade deste oribatídeo foi similar à de algumas minhocas (Lumbricidae), sendo mais sensível que estas com relação ao Pb. Com relação a algumas espécies de Collembola, este oribatídeo mostrou-se mais sensível também a estes dois metais.

O percentual de *P. peltifer* em relação à fauna de oribatídeos diminuiu acentuadamente com o declínio da vitalidade de diferentes fragmentos florestais na Holanda (VAN STRAALLEN e outros, 1988).

Resultados de campo e de laboratório tem demonstrado que outra espécie de ácaro oribatídeo, *Humerobates rostromellatus*, pode ser utilizado como um excelente monitor em programas de bio-ensaio de poluição aérea, antes do que como um mero indicador de SO<sub>2</sub> (ANDRÉ e outros, 1984). Esta espécie tem-se mostrado bastante sensível, em testes de laboratório, às altas concentrações de SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> no ar, demonstrando um efeito sinérgico na sua sensibilidade quando estes dois poluentes interagem.

A fauna de oribatídeos ocorrentes em musgos e cascas de árvores apresenta uma diminuição considerável no número de espécies com o aumento da poluição por SO<sub>2</sub> na zona urbana de Berlim (WEIGMANN e KRATZ, 1987).

MALTBY (1990) aponta o grupo dos ácaros como dominante da comunidade de artrópodes do solo em ambientes contaminados com Pb, Cd e Zn na Inglaterra, sendo o único grupo encontrado em solos altamente contaminados.

BIELSKA (1989) em estudo sobre solos afetados por poluição industrial na Polônia, relata que um aumento do grau de poluição pode resultar em uma diminuição no número de espécies e na abundância de espécies individuais de oribatídeos, assim como em uma redução na constância de ocorrência de espécies nas amostras.

BIELSKA (1982) estudando comunidades de ácaros oribatídeos de áreas degradadas devido à mineração de carvão e recultivadas na Polônia, verificou que, apenas em sítios com mais de 30 anos de recuperação, comunidades relativamente estruturadas puderam ser encontradas. MADEJ (1990), também na Polônia, relata uma variação na composição das espécies de ácaros em função da idade e altura das pilhas de rejeito de carvão.

DAVIS (1963) num estudo sobre o efeito da mineração de ferro sobre as taxocenoses de microartrópodes do solo (Acari & Collembola) na Inglaterra, encontrou diferenças significativas entre uma área não minerada, uma minerada e recuperada e uma minerada e não recuperada. Este autor registrou uma redução gradual e consistente na densidade de microartrópodes a partir da área não minerada, com a ocorrência de espécies exclusivas a uma das três áreas, como *Minunthozetes semirufus* (Cryptostigmata) encontrada apenas na área não minerada.

VASILIU E MIHAILESCU (1990) apresentam um estudo sobre as modificações estruturais na comunidade de Oribatida (Cryptostigmata) em solos de ecossistemas florestais sujeitos à poluição com metais pesados, SO<sub>2</sub> e "carbon black" (poeira finamente particulada produzida pela queima de hidrocarbonetos) na Romênia. Estes autores encontraram em uma área não poluída uma fauna rica de oribatídeos. Numa área onde a serapilheira concentra altas quantidades de poluentes, uma redução significativa na diversidade de espécies e na densidade (ind.m<sup>-2</sup>) de oribatídeos foi encontrada.

Associada às mudanças na comunidade, ocorreram mudanças nos hábitos alimentares, sugerindo uma cadeia trófica de detritos bastante simplificada.

JANSSEN e outros (1991) sugerem, através de estudos de laboratório, que os ácaros do solo podem ocupar um papel importante na transferência de metais através do ecossistema em ambientes poluídos com metais, como é o caso de áreas pós-mineradas. Quando as concentrações atingem níveis tóxicos para os organismos, os metais podem atuar como uma força seletiva contra organismos mais sensíveis e a favor dos mais resistentes. Se a resistência aos metais é motivo de seleção, populações de áreas contaminadas podem tornar-se mais resistentes que outras da mesma espécie de áreas não poluídas (KREBS, 1994; VAN STRAALLEN e outros, 1987).

Algumas espécies de oribatídeos até o momento exclusivas do campo nativo nas quatro estações de amostragem, como *Cyrtthermannia sp.* podem potencialmente ser sensíveis aos mais altos níveis de metais pesados dos campos sobre rejeitos (Campo-2 principalmente). Estas espécies podem, assim, apresentar um potencial para o biomonitoramento ambiental. Estudos fisiológicos e testes de toxicidade em laboratório, entretanto, assim como o estudo de outras áreas de campo da micro-região carbonífera entretanto, são fundamentais para comprovar a sensibilidade destas espécies aos ambientes poluídos com metais.

Em contrapartida, as poucas espécies presentes com densidades significativas nos dois campos alterados apresentam populações adaptadas aos níveis de contaminação local, podendo, se selecionadas e “cultivadas” com sucesso em laboratório, apresentar um grande potencial em projetos de recuperação do solo de áreas degradadas. Organismos destas espécies poderão ser adicionados (inoculados) ao solo juntamente com uma bom complemento orgânico (ELKINS e outros, 1984; GISLER e MEGURO, 1996), acelerando o normalmente muito lento processo de re-estruturação do solo de áreas pós-mineradas e de disposição de rejeitos de mineração.

As duas espécies de Oribatuloidea dominantes nos campos sobre rejeitos também ocorrem com abundância em áreas sob forte impacto de mineração de carvão em Candiota, RS, o que reforça a idéia da maior tolerância destas espécies aos ambientes degradados pela mineração de carvão. Algumas famílias de Oribatuloidea foram classificadas por AOKI (1979) dentro do grupo das famílias de oribatídeos mais insensíveis às perturbações antropogênicas.

ROHDE e RODRIGUEZ (1999) em suas conclusões “urbano-paisagísticas” destacam a existência de um cinturão de resíduos de carvão (cinzas e rejeitos) ao redor do espaço urbano da micro-região carbonífera do baixo Jacuí, em situação totalmente irregular levando-se em conta as normas ambientais e técnicas atuais. Segundo estes autores, os depósitos de resíduos não possuem preocupação ambiental e são realizados, na sua ampla maioria, utilizando tão somente critérios locais meramente econômicos.

Muitos destes depósitos, abandonados a várias décadas e na sua quase totalidade sem nenhum projeto de recuperação ambiental, hoje em dia transformaram-se em pastagens, com uma cobertura vegetal em diferentes estágios de regeneração, sendo “reintegrados” ou incorporados às fazendas de pecuária adjacentes, como nos campos 1 e 2 da presente tese.

Segundo o mapa de uso do solo da micro-região carbonífera do baixo Jacuí (OLIVEIRA e BALBUENO, 1999) o campo é o elemento dominante da paisagem. O presente estudo porém destaca que analisando este elemento numa escala menor (na verdade bem menor), em termos da abundância (absoluta e relativa) de microartrópodes do solo, a qualidade do solo difere significativamente entre áreas com diferente histórico de desenvolvimento.

Os resultados obtidos da comparação entre os campos 1, 2 e 3 da presente tese, apontam claramente a necessidade de um projeto amplo de biomonitoramento da qualidade do solo da micro-região carbonífera do baixo Jacuí. O estudo e o acompanhamento das comunidades de microartrópodes apresentam-se como ferramentas promissoras para esta avaliação.

Segundo BORCARD e outros (1995), para o entendimento das estruturas ecológicas, bem como para estratégias de conservação, é necessário uma abordagem em escala múltipla, espacial e temporalmente. Segundo estes autores, a composição das assembléias de oribatídeos em ambientes extremamente fragmentados pela ação humana (como podem ser considerados, para espécies sensíveis, os campos da micro-região carbonífera do baixo Jacuí), é influenciada pela estrutura da paisagem bem como pelos processos históricos, sendo as assembléias de áreas em regeneração composta por espécies de uma origem múltipla, sendo algumas de áreas adjacentes e outras utilizando estruturas da paisagem modificada pela ação antrópica.

Estudos sobre as questões sistemáticas envolvendo os ácaros oribatídeos, fundamentais sob muitos aspectos, como por exemplo para um entendimento da amplitude de distribuição geográfica das espécies, são bastante escassos para a região Neotropical. Os trabalhos existentes (veja BALOGH e BALOGH, 1988, 1990 e referências) registram uma grande diversidade de espécies, estes números porém, podem representar apenas um indicativo da diversidade total, uma vez que no mundo todo espécies novas de oribatídeos continuam sendo descritas (veja por exemplo ANDRÉ e outros, 1994).

WILSON (1994) em sua conclamação para uma levantamento mundial da biodiversidade, através da ação conjunta de pesquisadores do mundo todo, destaca os oribatídeos, comentando que mesmo nos Estados Unidos, existem pouquíssimos especialistas, com apenas um pesquisador renomado dedicando-se exclusivamente a este grupo.

Além da distribuição geográfica das espécies, outras questões ecológicas básicas, tais como micro-habitats favoráveis, preferências alimentares (ou não), flutuações sazonais da abundância, ciclo de vida, tolerância a determinados poluentes, etc., também fundamentais para um programa de monitoramento ambiental adequado, praticamente não existem para as espécies neotropicais.

Os resultados obtidos no presente estudo com relação a variações sazonais da abundância sugerem que, em um projeto de monitoramento ambiental, as amostragens devem ser realizadas em todas as estações do ano, uma vez que uma única estação não é representativa do comportamento da fauna durante todo o ano. Os resultados deste estudo porém foram obtidos em apenas quatro datas totalizando um ano de amostragem, sendo que o acompanhamento das variações da abundância ao longo de vários anos, com uma amostragem mensal e em um número maior de áreas experimentais, poderá trazer informações mais precisas.

Muitos estudos ainda são necessários para que uma avaliação ecotoxicológica criteriosa da qualidade do solo, que preserve a integridade da comunidade do solo, como a proposta por VAN STRAALEN e DENNEMAN (1989) possa ser realizada na micro-região carbonífera do baixo Jacuí e outras áreas sob impacto de mineração no Brasil.

O presente estudo entretanto, representa um passo inicial no conhecimento da ecologia de microartrópodes do solo em áreas de campo no extremo sul do Brasil. Apesar de suas limitações, os resultados obtidos indicam claramente o potencial deste grupo para projetos de biomonitoramento, contribuindo assim, para alguns dos objetivos específicos do programa PADCT-CIAMB/UFRGS, mais precisamente na inserção, via dissertações, trabalhos e teses, de novas abordagens de avaliação da problemática ambiental gerada pela exploração do carvão mineral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADIS, J.; RIBEIRO, O. A. Impact of deforestation on soil invertebrates of foodplain forests in central Amazonia and their strategies for survival during long periods of flooding. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi* (Ser. Zool.), v.5, n.1, p.101-126, 1989.
- ADRIANO, D. C.; PAGE, A. L.; ELSEEWI, A. A.; CHANG, A. C.; STRAUGHAN, I. Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. *Journal of Environmental Quality*, v.9, n.3, p.333-344, 1980
- AL-ASSIUTY, A. I. M.; BAYOUMI, B. M.; KHALIL, M. A.; VAN STRAALEN, N. M. Egg number and abundance of ten egyptian oribatid mite species (Acari: Cryptostigmata) in relation to habitat quality. *European Journal of Soil Biology*, v.29, n.2, p.59-65, 1993.
- ANDERSON, J. M. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *Journal of Animal Ecology*, v.44, n.2, p.475-498, 1975.
- ANDERSON, J. M. Inter- and intra-habitat relationships between woodland Cryptostigmata species diversity and the diversity of soil and litter microhabitats. *Oecologia*, v.32, p.341-348, 1978.
- ANDRÉ, H. M.; BOLLY, C.; LEBRUN, P. Monitoring and mapping air pollution through an animal indicator: a new and quick method. *Journal of Applied Ecology*, v.19, p.107-111, 1982.
- ANDRÉ, H. M.; LEBRUN, P. On the use of *Humerobates rostralamellatus* (Acari) as an air pollution bioassay monitor. The incidence of SO<sub>2</sub>-NO<sub>2</sub> synergism and of winter temperature. *The Science of Total Environment*, v.39, p.177-184, 1984.
- ANDRÉ, H. M.; NOTTI, M. I.; LEBRUN, P. The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, v.3, p.45-56, 1994.
- ANTONY, L. M. K. Estrutura e dinâmica da fauna do solo de sistemas florestais tropicais convertidos a pastagem ou cultivo. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3. *Resumos...*, p.184, 1996.
- AOKI, J. Difference in sensitivities of Oribatid families to environmental change by human impacts. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, v.16, n.3, p.414-422, 1979.
- BADEJO, M. A. Seasonal abundance of soil mites (Acarina) in two contrasting environment. *Biotropica* v.22, n.4, p.382-390, 1990.
- BADEJO, M. A.; LASEBIKAN, B. A. Comparative studies of the acarine populations of a secon-

- dary regrowth forest and a casava plantation in Ile-Ife, Nigeria. *Pedobiologia*, v.32, p.111-116, 1988.
- BAKER, E. W.; WARTON, G. W. *An introduction to acarology*. New York: McMillan, 1952. 465p.
- BALBUENO, R. A. *A fragmentação de ambientes florestais: dois casos na região do baixo Jacuí*. Porto Alegre, 1997. Dissertação de mestrado – Pós-Graduação em Ecologia/UFRGS. 85p.
- BALOGH, J. *Oribatid Genera of the world*. Budapest: Akadémiai Kiado, 1972. 330p.
- BALOGH, J.; BALOGH, P. *Oribatids of the neotropical region*. Amsterdam: Elsevier, 1988. v.1, 335p.
- BALOGH, J.; BALOGH, P. *Oribatids of the neotropical region*. Amsterdam: Elsevier, 1990. v. 2, 333p.
- BEARE, M. H.; COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A.; HENDRIX, P.F.; ODUM, E.P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, v.170, p.5-22, 1995.
- BENGTSON, G.; GUNNARSON, T.; RUNDGREN, S. Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus* (Collembola). *Journal of Applied Ecology*, v.22, p.967-978, 1985.
- BIELSKA, I. Communities of moss mites (Acari, Oribatei) of degraded and recultivated areas in Silesia. *Pol. Ecol. Stud.*, v.8, n.3-4, p.499-520, 1982.
- BIELSKA, I. Communities of moss mites (Acari: Oribatei) of grasslands under the pressure of industrial pollution. *Pol. Ecol. Stud.*, v.15, n.1-2, p.75-110, 1989.
- BORCARD, D.; GEIER, W.; MATTHEY, W. Oribatid mite assemblages in a contact zone between a peat-bog and a meadow in the Swiss Jura (Acari: Oribatei): influence of landscape structures and historical processes. *Pedobiologia*, v.39, p.318-330, 1995.
- BURGHOUTS, T.; ERNSTING, G.; KORTHALS, G.; DE VRIES, T. Litterfall, leaf litter decomposition and litter invertebrates in primary and selectively logged dipterocarp forest in Sabah, Malaysia. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, v.33, p.407-416, 1992.
- BUTCHER, J. W.; SNIDER, R.; SNIDER, R. J. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. *Annual Review of Entomology*, v.16, p.249-288, 1971.
- BUZZY, Z. J. *Entomologia didática*. Curitiba: CONCITEC-UFPR, 1985. 271p.
- CANCELA DA FONSECA, J. P. Forest management: impact on soil microarthropods and soil microorganisms. *Rev. Écol. Biol. Sol*, v.27, n.3, p.269-283, 1990.
- COHEN, J.; BRIAND, F.; NEWMAN, C. M. *Community food webs: data and theory*. New York: Springer, 1990.
- COLINAS, C.; INGHAM, E.; MOLINA, R. Population responses of target and non-target forest soil organisms to selected biocides. *Soil Biology and Biochemistry*, v.26, n.1, p. 41-47, 1994.
- CONNEL, J. H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *American Naturalist*, v.122, p.661-698, 1983.
- CRÉPIN, J.; JONHSON, R. L. Soil sampling for environmental assessment. pp.5-18, in: *Soil sampling and methods of analysis* (Carter, M. R., ed.). Canadian Society of Soil Science/Lewis Publishers, 1993. p.5-18.
- CURRY, J. P.; MOMEN, F. M. The arthropod fauna of grassland on reclaimed cutaway peat in central Ireland. *Pedobiologia*, v.32, p.99-109, 1988.
- DAVIS, B. N. K. A study of micro-arthropod communities in mineral soils near Corby, Northants. *Journal of Animal Ecology*, v.14, p.17-25, 1963.
- DENNEMAN, C. A. J.; VAN STRAALEN, N. M. The toxicity of lead and copper in reproduction tests using the oribatid mite *Platynothrus peltifer*. *Pedobiologia*, v.35, p.305-311, 1991.

- DIDDEN, W. A. M. Involvement of Enchytraeidae (Oligochaeta) in soil structure evolution in agricultural fields. *Biol. Fertil. Soils*, v.9, p.152-158, 1990.
- DINDAL, D. L. *Soil biology guide*. New York: John Wiley & Sons, 1990. 1.349p.
- DUARTE, M.M. Microartrópodes (Acari e Collembola) do solo de macieiras submetidas a diferentes tratamentos químicos em Vacaria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 21. *Resumos...*, 1996a. p.108.
- DUARTE, M.M. Abundância de microartrópodes do solo de um “capão de mato” com araucária no município de Muitos Capões, RS. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3. *Resumos...*, 1996b. p.159-160.
- DUARTE, M.M. & M. BECKER. Ácaros do solo em áreas de mata nativa, plantação de eucalipto e mineração de carvão do Rio grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 20. *Resumos...*, 1994. p.72.
- DZIUBA, S.; SKUBALA, P.; MARZENA, R. Communities of moss mites in the degraded biotopes near Katowice (Poland). *Pr. Nauk. Univ. Slak. Katowicach*, v.0, n.1167, p.122-138, 1990.
- EDWARDS, C. A. Soil pollutants and soil animals. *Scientific American*, v.220, n.4, p.88-99, 1969.
- EDWARDS, C. A.; FLETCHER, K. E. A comparison of extraction methods for terrestrial arthropods. In: *Quantitative soil ecology*. Blackwell, 1971. p.150-185. (IBP Handbook n.18.)
- EDWARDS, C. A.; LOFTY, J. R.. The influence of agricultural practice on soil microarthropods populations. In: *The Soil Ecosystem* (Sheals, J. G., ed.). Londres: The Systematic Association, 1969. p.237- 247.
- EISENBEIS, G.; WHICHARD W. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Springer-Verlag, 1987. 437p.
- ELKINS, N. Z.; PARKER, L. W.; ALDON, E.; WHITFORD, W. G. Responses of soil biota to organic amendments in strip-mine spoils in Northwestern New Mexico. *Journal of Environmental Quality*, v.13, n.2, p.215-219, 1984.
- ERWIN, T. L. Tropical forest canopies: the last biotic frontier. *Bull. Ent. Soc. Am.*, v.29, p.14-19, 1983.
- ETTERS HANK, G.; ELKINS, N. Z.; SANTOS, P. S.; WHITFORD, W. G.; ALDON, E. F. The use of termites and other soil fauna to develop soils on strip mine spoils. *Forest Service, U. S. Department of Agriculture*, 1978. p.1-4. Research note RM 361.
- FRANCHINI, P.; ROCKETT, C. L. Oribatid mites as “indicator” species for estimating the environmental impact of conventional and conservation tillage practices. *Pedobiologia*, v.40, p.217-225, 1996.
- FRATELLO, B.; BERTOLANI, R.; SABATINI, M. A.; MOLA, L.; RASSU, M. A. Effects of atrazine on soil microarthropods in experimental maize fields. *Pedobiologia*, v.28, p.161-168, 1985.
- FINNEY, D. J. *An introduction to statistical science in agriculture*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1956. 290p.
- GARAY, I.; NAFT, L. Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests. In: *Urban ecology* (Bornkamm, R.; Lee, J. A.; Seaward, M. R. D, eds.). Blackwell, 1982. p.201-207.
- GISLER, C. V. T.; MEGURO, M. O uso da serapilheira na melhoria das propriedades do solo em áreas mineradas de bauxita: Poços de Caldas, MG. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3. *Resumos...*, p.423-424, 1996.
- GREEN, R. H., BAILEY, R. C.; HINCH, S. G.; METCALFE, J. L.; YOUNG, V. H. Use of freshwater mussels (*Bivalvia: Unionidae*) to monitor the nearshore environment of lakes. *Journal of Great Lakes Research*, v.15, n.4, p.635-644, 1989.

- HAGVAR, S. Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. *Pedobiologia*, v.27, n.5, p.341-354, 1984.
- HAGVAR, S.; KJONDAL, B. R.. Effects of artificial acid rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. *Pedobiologia*, v.22, p.409-422, 1981.
- HENEGHAN, L.; BOLGER, T. Effects of acid rain components on soil microarthropods: a field manipulation. *Pedobiologia*, v.40, p.413-438, 1996.
- HEUNGENS, A.; VAN DAELE, E. The influence of some acids, bases and salts on the mite and Collembola population of a pine litter substrate. *Pedobiologia*, v.27, p.299-311, 1984.
- HUTSON, B. R. Colonization of industrial reclamation sites by Acari, Collembola and other invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, v.17, p.255-275, 1980a.
- HUTSON, B. R. The influence on soil development of the invertebrate fauna colonizing industrial reclamation sites. *Journal of Applied Ecology*, v.17, p.277-286, 1980b.
- HUTSON, B. R. Age distribution and the annual reproductive cycle of some Collembola colonizing reclaimed land in Northumberland, England. *Pedobiologia*, v.21, p.410-416, 1981.
- ITURRONDORBEITIA, J. C.; SALOÑA, M. I. Estudio de las comunidades de Oribátidos (Acari, Oribatei) de varios ecosistemas de Vizcaya y una zona próxima; 4. Relación entre fauna y factores del suelo. *Rev. Écol. Biol. Sol*, v.8, n.4, p.443-459, 1991.
- JANSEN, M. P. M.; BRUINS, A.; DE VRIES, T. H.; VAN STRAALEN, N. M. Comparison of cadmium kinetics in four soil arthropods species. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, v.20, p.305-312, 1991.
- JANSEN, M. P. M.; JOOSEE, E. N. G.; VAN STRAALEN, N. M. Seasonal variation in concentration of cadmium in litter arthropods from a metal contaminated site. *Pedobiologia*, v.34, p.257-267, 1990.
- KANEKO, N. Feeding habits and cheliceral size of oribatid mites in cool temperate forest soils in Japan. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, v.25, n.3, p.353-363, 1988.
- KEVAN, D. K. Mc. *Soil animals*. Londres H.F. & G/Witherby, 1968. 244p.
- KING, K. L.; HUTCHINSON, K. J. Effects of superphosphate and stocking intensity on grassland microarthropods. *Journal of Applied Ecology*, v.17, p.581-591, 1980.
- KLUBEK, B.; CARLSON, C. L.; OLIVER, J.; ADRIANO, D. C. Characterization of microbial abundance and activity from three coal ash basins. *Soil Biology and Biochemistry*, v.24, n.11, p.1119-1125, 1992.
- KOMULAINEN, M.; MIKOLA, J. Soil processes as influenced by heavy metals and the composition of soil fauna. *Journal of Applied Ecology*, v.32, p.234-241, 1995.
- KREBS, C. J. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. 4.ed. Harper Collins, 1994. 801p.
- KROGH, P. H. Perturbation of the soil microarthropod community with the pesticides isofenphos and benomyl. 1. Population changes. *Pedobiologia*, v.35, p.71-88, 1991.
- LARKIN, R. P.; KELLY, J. M. Influence of elevated ecosystems S<sub>2</sub> levels on litter decomposition and mineralization. *Water Air and Soil Pollution*, v.34, p.415-428, 1987.
- LAVELLE, P.; LATTAUD, C.; TRIGO, D.; BAROIS, I. Mutualism and biodiversity in soils. *Plant and Soil*, v.170, p.23-33, 1995.
- LOBRY, L. A.; BRUIN, L. A.; CONACHER, A. J. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Aust. J. Soil Res.*, v.28, p.55-93, 1990.
- LOUREIRO, M. C. *Synecology of edaphic Arthropoda in Iowa agroecosystems*. Tese de Doutorado (Ph.D) - Iowa State University. 1975. 130p.

- LUXTON, M. Studies on the oribatid mites of a Danish beech wood soil. I: Nutritional biology. *Pedobiologia*, v.12, p.193-207, 1972.
- LUXTON, M. The ecology of some soil mites from coal shale tips. *Journal of Applied Ecology*, v.19, p.427-442, 1982.
- MADEJ, G. Inhabitation of coal mine dumping by mites from the order Mesostigmata: II. Changes in species composition as a function of dumping ground age and height. *Pr. Nauk. Univ. Slask. Katowicach*, v.0, n1167, p.69-85, 1990.
- MADEJ, G.; SKUBALA, P. Communities of mites (Acari) on old galena-calamine mining wastelands at Galman, Poland. *Pedobiologia*, v.40, p.311-327, 1996.
- MALTBY, L. Arthropod communities on lead mine spoils. *Bull. Brit. Ecol. Soc.*, v.29, n.2, p.114-116. 1990.
- MASSOT, C.; CANCELA DA FONSECA. Étude, par l'analyse en composantes principales, de la mésofaune de la litière sous hêtre de quatre parcelles forestières exploitées différemment. *Rev. Écol. Biol. Sol*, v.23, p.19-27, 1986.
- MISHRA, S. D.; PRASAD, D.; BWIWEDI, B. K. Pesticide residue in soil and soil organisms. In: *Soil Pollution and Soil Organisms* (Mishra, P. C. , ed.). Nova Deli: Ashish Publ., 1989. p.17-30, 282p.
- MOORE, F. R.; LUXTON, M. The colembolan fauna of two coal shale tips in north-west England. *Pedobiologia*, v.29, p.359-366, 1986.
- MOORE, J. C., WALTER, D. E.; HUNT, W. H. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annual Review of Entomology*, v.33, p.419-439, 1988.
- MUELLER, B. R., M. H. BEARE & D. A. CROSSLEY JR. Soil mites in detrital food webs of conventional and no-tillage agroecosystems. *Pedobiologia*, v.34, p.389-401, 1990.
- NAKAMURA, Y. Oribatids and Enchytraeids in ecofarmed and conventionally farmed dryland grainfields of central Japan. *Pedobiologia*, v.33, p.389-398, 1989.
- NIEDBALA, W.; BLASZAK, C.; BLOSZYK, J.; KALISZEWSKI, M.; KAZMIERSKI, A. Soil mites (Acari) of Warsaw and Mazovia. *Memoriabilia Zool.*, v36, p.235-252, 1982.
- OLIVEIRA, P.; BALBUENO, R. A. Cobertura vegetal na região carbonífera do baixo Jacuí. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. Cap. 15.
- PAUL, E. A. Soils as components and controllers of ecosystems processes. *Toward a more exact ecology* (Grubb, P.J.; Whittaker, J. B., eds.). Oxford: Blackwell, 1989. p.353-374.
- PETERSEN, H.; LUXTON, M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, v.39, n.3, p.288-388, 1982.
- PILLAR, V. de P. *MULTIV* (versão 1.2). Porto Alegre: Departamento de Ecologia/UFRGS, 1998.
- PILLAR, V. de P.; ORLÓCI, L. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. *Journal of Vegetation Science*, v.7, p.585-592, 1996.
- PIMM, S. T. *The Balance of Nature?* Chicago: UCP, 1991. 434p.
- PLOWMAN, K. P. Inter-relation between environmental factors and Cryptostigmata and Mesostigmata (Acari) in the litter and soil of two australian subtropical forests. *Journal of Animal Ecology*, v.50, p.533-542, 1981.
- RIBEIRO, E. F.; SCHUBART, H. O. R. Oribatídeos colonizadores de folhas em decomposição de três sítios florestais da amazônia central. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ser Zool.*, v.5, n.2, p.243-276, 1989.

- RICKLEFS, R.E.; SCHLUTER, D. *Species diversity in ecological communities*. Chicago: UCP, 1993. 414p.
- ROHDE, G.; RODRIGUEZ, M. T. R. Diagnóstico ambiental das cinzas de carvão no baixo Jacuí, RS. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 1999. Cap. 12.
- ROSENZWEIG, M.L. *Species diversity in space and time*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 436p.
- ROTH, M. Investigations on lead in the soil invertebrates of a forest ecosystem. *Pedobiologia*, v.37, p.270-279, 1993.
- RUSSEL, E. W. The soil environment. In: *The soil ecosystem* (Sheals, J. G., ed.). Londres: The Systematic Association, 1969. p.1-8.
- SALMINEN, J.; SULKAVA, P. Distribution of soil animals in patchily contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v.28, n.10-11, p.1349-1355, 1996.
- SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. *Ecology*, v.62, n.3, p.654-663, 1981.
- SANTOS, P. F.; PHILLIPS, J.; WHITFORD, W. G. The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in a desert. *Ecology*, v.63, n.2, p.664-669, 1981.
- SAUTTER, K. D. *Comparação da população de Collembola (Insecta) e Oribatei (Acari: Cryptostigmata) entre plantio direto em três níveis de fertilidade, plantio convencional e um ecossistema de campo natural*. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Ciências Biológicas/ UFPR, 1995.
- SCHEU, S.; SCHULZ, E. Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatid and saprophagous soil macro-invertebrates. *Biodiversity and Conservation*, v.5, p.235-250, 1996.
- SCHOENER, T.W. Field experiments in interspecific competition. *American Naturalist*, v.122, p.240-285 1983.
- SEADSTED, T. R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization process. *Annual Review of Entomology*, v.29, p.25-46, 1984.
- SEADSTED, T. R.; CROSSLEY JR., D. A. Microarthropod response following cable logging and clear-cutting in the southern Appalachians. *Ecology*, v.62, n.1, p.126-135, 1981.
- SGARDELIS, S. P.; USHER, M. B. Responses of soil Cryptostigmata across the boundary between a farm woodland and an arable field. *Pedobiologia*, v.38, p.36-39, 1994.
- SIEPEL, H. Biodiversity of soil microarthropods: the filtering of species. *Biodiversity and Conservation*, v.5, p.251-260, 1996a.
- SIEPEL, H. The importance of unpredictable and short-term environmental extremes for biodiversity in oribatid mites. *Biodiversity Letters*, v.3, p.26-34, 1996b
- SIEPEL, H.; MAASKAMP, F. Mites of different feeding guilds affect decomposition of organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, v.26, n.10, p.1389-1394, 1994.
- SIEPEL, H.; RUITER-DUKMAN, E. M. Feeding guilds of oribatid mites based on their Carbohydrase activities. *Soil Biology and Biochemistry*, v.25, n.11, p.1491-1497, 1993.
- SIEPEL, H.; VAN DE BUND, C. F. The influence of management practices on the microarthropod community of grasslands. *Pedobiologia*, v.31, p.339-354, 1988.
- SILVA-PORTO, F.; GARAY, I. A composição da comunidade de microartrópodes edáficos como indicadores da heterogeneidade do subsistema de decomposição da floresta atlântica de tabuleiros de Linhares, ES. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3. *Resumos...*, 1996. p.170.

- SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. *Soil Biology and Biochemistry*, v.24, n.2, p.117-124, 1991.
- STANTON, N. L. Patterns of species diversity in temperate and tropical litter mites. *Ecology*, v.60, n.2, p.295-304, 1979.
- STILING, P. D. *Introductory ecology*. Prentice-Hall, 1992. 597p.
- STREIT, B. Effects of high copper concentrations on soil invertebrates (earthworms and oribatid mites): Experimental results and a model. *Oecologia*, v.64, p.381-388, 1984.
- TOUSIGNANT, S.; CODERRE, D. Niche partitioning by soil mites in a recent hardwood plantation in Southern Québec, Canada. *Pedobiologia*, v.36, p.287-294, 1992.
- TYLER, G. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. *Plant and Soil*, v.41, p.303-311, 1974.
- TYLER, G. Heavy metal pollution and the mineralization of nitrogen in forest soils. *Nature*, v.255, p.701-702, 1975.
- TYLER, G. Heavy metal pollution, phosphatase activity and mineralization of organic phosphorus in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.8, p.327-332, 1976.
- USHIWATA, C. T.; SAUTTER, K.D.; KOBAYAMA, M. Influence of compaction of a forest soil on the soil fauna in a subtropical region. I. Oribatei (Acari Cryptostigmata) and Collembola (Insecta). *Revista Brasileira de Zoologia*, v.12, n.4, p.905-913, 1995.
- VALLEJO, L. R.; FONSECA, C. L.; GONÇALVES, DR. P. Estudo comparativo da mesofauna do solo entre áreas de *Eucalyptus citriodora* e mata secundária heterogênea. *Revista Brasileira de Biologia*, v.47, n.3, p.363-370, 1987.
- VAN STRAALLEN, N. M.; BURGHOUTS, T. B. A.; DOORNHOF, M. J.; GROOT, G. M.; JANSSEN, M. P. M.; JOOSE, E. N. G.; VAN MEERENDONK, J. H.; THEEUWEN, J. P. J. J.; VERHOEF, H. A.; ZOOMER, H. R. Efficiency of lead and cadmium excretion in populations of *Orchesella cincta* (Collembola) from various contaminated forest soils. *Journal of Applied Ecology*, v.24, p.953-968, 1987.
- VAN STRAALLEN, N. M.; DENNEMAN, C.A. J. Ecotoxicological evaluation of soil quality criteria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.18, p.241-251, 1989.
- VAN STRAALLEN, N. M.; KRAAK, M. H. S.; DENNEMAN, C. A. J. Soil microarthropods as indicators of soil acidification and decline in the Veluwe area, the Netherlands. *Pedobiologia*, v.32, p.47-55, 1988.
- VAN STRAALLEN, N. M.; SCHOBEN, J. H. M.; GOEDE, R. G. M. Population consequences of cadmium toxicity in soil microarthropods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.17, p.190-204, 1989.
- VASILIU, N.; MIHAILESCU, A. Oribatid (Acarina, Oribatida) as indicators of forestry soils pollution with heavy metals, sulfur dioxide and carbon black. *An. Inst. Cerc. Pedol. Agrochim. Bucuresti*, v.50, p.287-301, 1989.
- VOSSBRINK, C. R.; COLEMAN, D. C.; WOOLEY, T. A. Abiotic factors in litter decomposition in a semiarid grassland. *Ecology*, v.60, n.2, p.265-271, 1979.
- WALLWORK, J. A. *Ecology of soil animals*. MacGraw-Hill, 1970. 283p.
- WALLWORK, J. A. Oribatida in forest ecosystems. *Annual Review of Entomology*, v.28, p.109-130, 1983.
- WALTER, D. E.; HUNT, H. W.; ELLIOTT, E. T. Guilds or functional groups? An analysis of predatory arthropods from a shortgrass steppe soil. *Pedobiologia*, v.31, p.247-260, 1988.
- WARDLE, D. A.; GILLER, K.E. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. *Soil Biology and Biochemistry*, v.28, n.11, p.1549-1554, 1996.

- WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; WATSON, R. N.; NICHOLSON, K. S. The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agro-ecosystems. *Plant and Soil*, v.170, p.35-43, 1995.
- WEIGMANN, G.; KRATZ, W. Oribatid mites in urban zones of West Berlin. *Biology and Fertility of Soils*, v.3, p.81-84, 1987.
- WHITFORD, W. G. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, v.5, p.185-195, 1996.
- WILLIAMS, S. T.; McNEILLY, T.; WILLINGTON, E. M. H. The decomposition of vegetation growing on metal mine waste. *Soil Biology and Biochemistry*, v.9, p.271-275, 1977.
- WILSON, E. O. The little things that run the world (the importance and conservation of invertebrates). *Conservation Biology*, v.1, n.4, p.344-346, 1987.
- WILSON, E. O. *A diversidade da vida*. São Paulo: Companhia das Letras, 1994.
- WITKAMP, P. Soils as components of ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematic*, v.2, p.85-110, 1971.
- WONG, M. H.; WONG, J.W. Effects of fly ash on soil microbial activity. *Environmental Pollution (série A)*, v.40, p.127-144, 1986.