

Comunidade de insetos bentônicos em rio impactado por mineração de carvão em Treviso, Santa Catarina

Community of benthic insects in a river impacted by coal mining in Treviso, Santa Catarina

Renata Coelho Rodrigues¹

Renato Augusto Teixeira²

Luiz Alexandre Campos¹

Resumo

Foi investigada a diversidade de insetos bentônicos em gradiente de poluição por efluentes da mineração de carvão no rio Mãe Luzia, sul de Santa Catarina (Brasil). Os insetos foram coletados quinzenalmente entre setembro de 2004 e agosto de 2005 em três pontos com diferentes níveis de contaminação, onde também foram medidos temperatura, vazão, pH e condutividade da água. Foi utilizada rede entomológica (1mm de malha) em transectos de 20m com o revolvimento do substrato a cada metro. Os insetos foram identificados até família e foram calculados para cada ponto o índice de diversidade de Shannon-Wiener e de equitabilidade de Pielou. Foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA) para verificar a existência de padrões de similaridade entre os pontos e a correlação entre variáveis bióticas e abióticas. Registrou-se um total de 14.025 indivíduos pertencentes a 35 famílias de nove ordens. Hydropsychidae (Trichoptera) foi a mais abundante, seguida de Elmidae (Coleoptera) e Psephenidae (Coleoptera). Abundância e riqueza foram inversamente proporcionais ao grau de impacto decorrente da poluição, enquanto que os maiores valores de diversidade e equitabilidade foram encontrados no ponto intermediário. A CCA indicou maior correlação entre a condutividade e a diversidade de insetos bentônicos. Estas análises evidenciaram diferenças entre as unidades dos dois pontos com menor impacto ambiental, mostrando-se eficientes na detecção de variações sutis no ambiente lótico.

Palavras-chave: biodiversidade, ecologia de comunidades, ecologia de córregos, mineração de carvão, impacto ambiental.

Abstract

The diversity of benthic insects under a pollution gradient by coal mining effluents was analyzed in the Mãe Luzia river, southern Santa Catarina (Brazil). Insects were collected biweekly from September 2004 to August 2005 at three sites presenting different contamination levels. Temperature, discharge, pH and conductivity were measured during field sampling. An entomological net (mesh of 1 mm) was used in

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Av. Universitária 1105, Cx.P. 3167 CEP 88806-000 Criciúma, Santa Catarina, Brasil. E-mail: renatacrbio@yahoo.com.br

² Curso de Ciências Biológicas, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Av. Universitária 1105, Cx.P. 3167 CEP 88806-000 Criciúma, Santa Catarina, Brasil.

transects of 20 m disturbing the substratum at each 1 m. The insects were identified to family level and for each site the diversity index of Shannon-Wiener and the equitability index of Pielou were calculated. Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used to search for similarity patterns among the sites and the correlation between biotic and abiotic variables. A total of 14,025 specimens were registered belonging to 35 families of nine orders. Hydropsychidae (Trichoptera) was the most abundant family followed by Elmidae (Coleoptera) and Psephenidae (Coleoptera). Abundance and richness were inversely proportional to the pollution impact degree, whereas the highest values of diversity and equitability were found at the intermediary site. CCA indicated better correlation between the conductivity and the diversity of benthic insects. These analysis evidenced differences between the sample units of the two less disturbed sites, being useful to detect subtle variations in the lotic environment.

Keywords: Biodiversity, Community Ecology, Stream Ecology, Coal mining, Environmental impact.

Introdução

Estudos de comunidades de insetos bentônicos têm sido considerados uma importante ferramenta no monitoramento de condições ecológicas, com enfoque na composição taxonômica e dominância de alguns grupos tolerantes a poluição. No Brasil, algumas iniciativas de reabilitação têm sido propostas para bacias hidrográficas que vêm sofrendo a influência do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, na maioria das vezes utilizando técnicas estatísticas multivariadas (LEUNG, 2000). Outros estudos levam em consideração não a diversidade de espécies em si, mas alterações observadas em determinados grupos, sejam elas comportamentais ou morfológicas (BISTHOVEN et al., 1998; HARDESEN, 2000).

Devido às características biológicas próprias dos diferentes grupos de invertebrados límnicos, a correlação dos dados bióticos com os abióticos torna possível a detecção entre fontes poluidoras diversas (ADAMS, 2001). Organismos da entomofauna aquática possuem grande potencial como bioindicadores, pois possuem tamanhos relativamente grandes, ciclos de vida longos, grande diversidade e abundância (METCALFE, 1989; ROSENBERG; RESH, 1993), apresentando desde espécies muito sensíveis até fortemente tolerantes à poluição (BARBOUR et al., 1999).

Almada e Würdig (2000) destacam a importância da avaliação da macrofauna bentônica para estudos do grau de poluição aquática, sendo que modificações na estrutura da biocenose podem constituir um diagnóstico de ambientes poluídos ou estressados. Taylor e Bailey (1997) já confirmavam a eficiência dos macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade dos ambientes afetados por efluentes oriundos da exploração do carvão mineral. Apesar da importância do conhecimento deste segmento da fauna, o efeito da poluição causada por efluentes oriundos da mineração de carvão sobre macroinvertebrados bentônicos tem recebido pouca atenção na literatura científica.

Dentre os insetos bentônicos, as ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) são as mais comumente utilizadas para avaliar a qualidade da água (RESH; JACKSON, 1993; MERRITT; CUMMINS, 1996; GALDEAN, et al., 2000; FERNÁNDEZ; DOMÍNGUEZ, 2001; MELO, 2003). Fernández e Domínguez (2001) e Compín e Céréghino (2003) consideram importante também o emprego da família Elmidae (Coleoptera) como bioindicadora.

Os municípios do Extremo Sul de Santa Catarina pertencentes à bacia carbonífera tiveram seu desenvolvimento econômico devido principalmente à exploração do carvão mineral. Apesar de importante recurso energético, a extração, o beneficiamento e a utilização desse minério são atividades potencialmente poluidoras, o que pode representar elevado comprometimento ao meio ambiente (GAIVIZZO et al., 2000). A exploração desse recurso na região tem mais de 100 anos (ALEXANDRE, 1999) concentrando-se principalmente nos municípios de Criciúma, Siderópolis, Urussanga e Lauro Müller (CITADINI-ZANETTE; BOFF, 1992).

Muitas das atividades carboníferas da região encontram-se localizadas na sub-bacia do rio Mãe Luzia, a qual está comprometida em grande parte de sua extensão (ALEXANDRE, 1999). A descarga de substâncias e elementos tóxicos provenientes das operações de mineração afetam águas superficiais e subterrâneas (TUNDISI, 2005), tornando os sistemas lóticos inóspitos, permitindo apenas a sobrevivência de microorganismos capazes de tolerar a acidez e a concentração elevada de metais (CASTRO-SILVA, 2003). Courtney e Clements (2002) afirmam que mesmo após o término das atividades mineradoras os impactos de metais pesados persistem nos sistemas aquáticos.

O presente trabalho teve como objetivos registrar e quantificar a diversidade de famílias de insetos bentônicos num gradiente de poluição por efluentes de mineração de carvão no rio Mãe Luzia, em Treviso, Estado de Santa Catarina. Buscou-se, também, identificar a influência de fatores físicos e químicos sobre a diversidade de insetos bentônicos.

Material e métodos

O presente estudo foi realizado no município de Treviso, na sub-bacia do rio Mãe Luzia. As coletas ocorreram em três pontos do rio Mãe Luzia (Figura 1), os quais foram selecionados conforme a contribuição de efluentes recebidos da mineração de carvão e designados P1, P2 e P3, cujas suas coordenadas foram obtidas com uso de GPS junto à margem direita do rio. No P1 (28°27'39" S, 49°30'09" W), a montante dos demais, não há descarga de efluentes, no P2 (28°28'15" S, 49°27'42" W) existe uma leve contribuição de efluentes de mineração, enquanto no P3 (28°28'23" S, 49°27'38" W) há um forte impacto resultante de efluentes de drenagem de rejeitos e estéreis da mineração.

As coletas foram realizadas quinzenalmente no período de setembro de 2004 e agosto de 2005. A técnica de coleta dos insetos consistiu no uso de uma rede entomológica de 80x40x40 cm e malha de 1 mm. Colocava-se a rede a jusante da área a ser amostrada e revolvia-se o substrato ao longo de um metro a partir da rede, a fim de carrear os organismos para o amostrador. A cada metro a rede era esvaziada em

recipiente hermético para posterior triagem. Este processo foi repetido 20 vezes em cada ponto, por evento de coleta (adaptado de BUENO; BOND-BUCKUP, 2000; BUENO et al., 2000 e BUENO et al., 2003). Os exemplares foram conservados em álcool 70% e identificados até família com o uso de chaves dicotômicas (MACAN, 1975; MERRIT; CUMMINS, 1996; NIESER; MELO, 1997; FERNÁNDEZ; DOMINGUEZ, 2001). O material testemunho encontra-se depositado na Coleção Entomológica de Referência da Universidade do Extremo Sul Catarinense (CERSC). Nas ocasiões de coleta de insetos foram obtidos *in situ* dados de pH, temperatura e condutividade da água, com o uso de laboratório portátil Check Mate 90 (Corning Incorporated Science Products Division), e de vazão com equipamento Model ACM – 100 D.

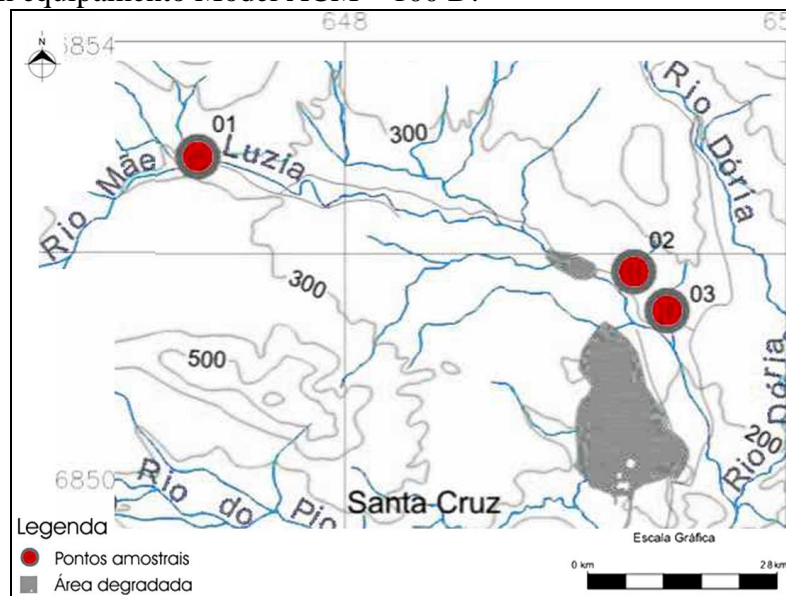


Figura 1 - Localização dos três pontos amostrais no rio Mãe Luzia Treviso/SC com indicação das áreas de depósitos de rejeitos (Modificado de Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT 2006).

Para os três pontos amostrais foram calculados a riqueza (S) e a abundância (N) de famílias. A riqueza total de famílias de EPT foi calculada para cada ponto, pois estas são ordens consideradas como indicadores de qualidade de ecossistemas aquáticos (CALLISTO; ESTEVES, 1998). A diversidade da comunidade de insetos bentônicos foi estimada, para cada ponto e estação do ano, pelo índice de Shannon-Wiener (H') (MAGURRAN, 1988) e a equitabilidade pelo índice de Pielou (E).

Aplicou-se à matriz de abundância o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov e verificou-se que os dados não apresentavam distribuição normal ($p < 0,01$) (McGARIGAL et al., 2000). Os dados foram então normalizados corrigindo-se os valores por $\log(x+1)$. Foi realizada a análise de correspondência canônica (CCA), com a opção *detrend*, para averiguar a existência de padrões de similaridade entre os pontos, bem como a correlação entre a variabilidade dos dados bióticos (comunidade de insetos bentônicos) e dos dados abióticos (pH, condutividade, temperatura, vazão). Foram

desconsiderados os meses novembro e dezembro de 2005 e maio de 2006, respectivamente, pela indisponibilidade de dados de vazão, pH e temperatura. Estas análises foram feitas com o uso do programa MVSP (Multi-Variate Statistical Package, versão 3.12d).

Resultados

Foi coletado um total de 14.025 indivíduos pertencentes a 35 famílias de nove ordens (Tabela 1), sendo 7.255 no P1, 6.429 no P2 e 341 no P3. As ordens mais abundantes foram Trichoptera (26,78%), Coleoptera (23,98%), Ephemeroptera (21,71%) e Plecoptera (11,52%), que somadas, corresponderam a 83,99% do total amostrado. A família mais abundante foi Hydropsychidae (Trichoptera) com 2.720 indivíduos, 19,39% do total, seguida por Elmidae e Psephenidae (Coleoptera) com respectivamente 1.667 (11,88%) e 1.665 indivíduos (11,87%).

A maior riqueza foi encontrada no P1, com 33 famílias, seguido por P2 e P3, com respectivamente 32 e 21 famílias representadas. Em cada ponto amostral observou-se diferenças quanto às famílias dominantes. Elmidae, Hydropsychidae e Leptophlebiidae (Ephemeroptera) foram representadas por cerca de 1.200 indivíduos cada uma no P1. Hydropsychidae predominou no P2, com 1.456 indivíduos, enquanto Psephenidae apresentou a maior abundância no P3, com 126 indivíduos (Tabela 1). Com relação às famílias exclusivas, Gyrinidae, Staphylinidae (Coleoptera) e Blephariceridae (Diptera) foram encontradas apenas no P1, Athericidae e Ephidridae (Diptera) somente no P2. Não foram registradas famílias exclusivas no P3.

Tabela 1 - Organismos encontrados em três pontos amostrais no período de setembro de 2004 a agosto de 2005, no rio Mãe Luzia, Treviso/SC.

| Ordem | Família | Pontos | | | Total |
|---------------|-----------------|--------|-----|-----|-------|
| | | P1 | P2 | P3 | |
| COLEOPTERA | Elmidae | 1239 | 422 | 6 | 1667 |
| | Gyrinidae | 1 | - | - | 1 |
| | Hydrophilidae | 21 | 6 | - | 27 |
| | Psephenidae | 687 | 854 | 124 | 1665 |
| | Staphylinidae | 4 | - | - | 4 |
| DIPTERA | Athericidae | - | 4 | - | 4 |
| | Blephariceridae | 4 | - | - | 4 |
| | Ceratopogonidae | 1 | 3 | - | 4 |
| | Chironomidae | 48 | 112 | 5 | 165 |
| | Ephydridae | - | 1 | - | 1 |
| | Rhagionidae | 130 | 112 | 2 | 244 |
| | Simuliidae | 17 | 9 | 1 | 27 |
| | Tipulidae | 100 | 392 | 7 | 499 |
| EPHEMEROPTERA | Baetidae | 29 | 22 | - | 51 |
| | Caenidae | 7 | 9 | - | 16 |
| | Leptohyphidae | 765 | 614 | 22 | 1401 |
| | Leptophlebiidae | 1193 | 256 | 12 | 1461 |

| | | | | | |
|--------------|-------------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| | NI* | 49 | 66 | 2 | 117 |
| HEMIPTERA | Naucoridae | 242 | 470 | 51 | 763 |
| LEPIDOPTERA | Pyralidae | 1 | 7 | - | 8 |
| MEGALOPTERA | Corydalidae | 26 | 143 | 28 | 197 |
| ODONATA | Aeshnidae | 1 | 1 | - | 2 |
| | Agriidae | 1 | 2 | 1 | 4 |
| | Coenagrionidae | 145 | 146 | 7 | 298 |
| | Corduliidae | 1 | 6 | - | 7 |
| | Libellulidae | 1 | 14 | 1 | 16 |
| PLECOPTERA | Gripopterygidae | 79 | 12 | 1 | 92 |
| | Perlidae | 766 | 736 | 22 | 1524 |
| TRICHOPTERA | Ecnomidae | 3 | 19 | 1 | 23 |
| | Glossosomatidae | 2 | 21 | - | 23 |
| | Hydrobiosidae | 38 | 78 | 1 | 117 |
| | Hydropsychidae | 1221 | 1456 | 43 | 2720 |
| | Philopotamidae | 234 | 211 | 2 | 447 |
| | Polycentropodidae | 43 | 207 | 2 | 252 |
| | NI* | 156 | 18 | - | 174 |
| Total | | 7255 | 6429 | 341 | 14025 |

*NI = família não identificada.

Com relação à fauna de EPT, no P1 e no P2 foram coletadas cinco famílias de Ephemeroptera (Baetidae, Caenidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae e uma não identificada), duas de Plecoptera (Gripopterygidae e Perlidae) e sete de Trichoptera (Ecnomidae, Glossosomatidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Philopotamidae, Polycentropodidae e uma não identificada). Destas, não foram registradas no P3 as famílias Baetidae e Caenidae (Ephemeroptera), Glossosomatidae e a família não identificada (Trichoptera). A proporção de EPT em relação à abundância total foi decrescente do P1 ao P3, sendo de 62,42% no P1, 57,94% no P2 e 31,67% no P3.

Comparando-se as estações do ano, registraram-se as maiores abundâncias médias no verão, para P1 e P2, seguido do outono e inverno nos mesmos pontos. As menores abundâncias médias foram obtidas na primavera para P1 e P2, e em todas as estações no P3 (Fig. 2).

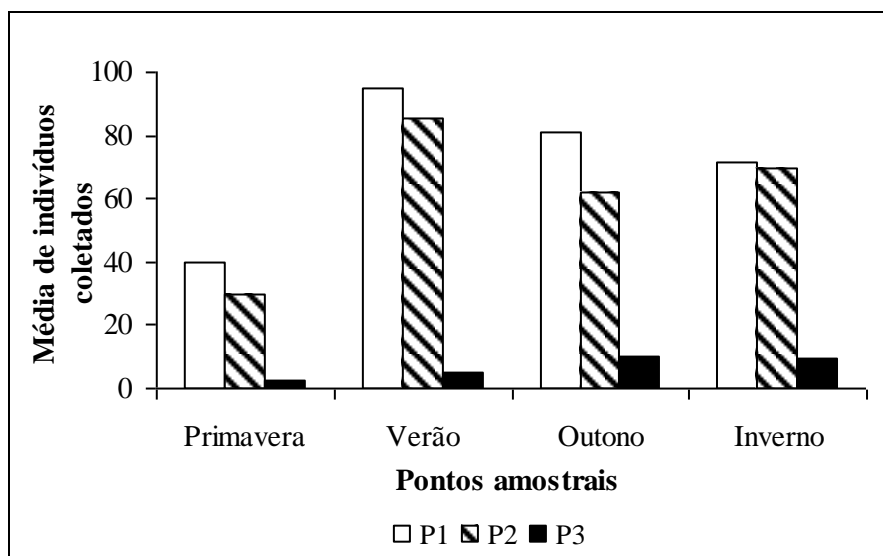


Figura 2 - Média mensal dos indivíduos coletados por estação do ano no rio Mãe Luzia, setembro de 2004 a agosto de 2005.

Os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e de Equitabilidade de Pielou (E) não apresentaram variação sazonal uniforme nos três pontos. No P1 os maiores valores foram registrados no inverno ($H'=1,044$; $E=0,687$) e os menores na primavera ($H'=0,912$; $E=0,600$). No P2 e no P3 os maiores valores foram registrados na primavera (respectivamente $H'=1,120$; $E=0,744$ e $H'=0,913$; $E=0,690$) e os menores no outono (respectivamente $H'=1,021$; $E=0,678$ e $H'=0,747$; $E=0,564$).

Para a Análise de Correspondência Canônica (CCA) os dados bióticos foram comparados aos dados de pH, condutividade, temperatura e vazão (Tabela 2). A CCA evidenciou uma maior correlação entre o primeiro eixo e a condutividade (índice de correlação canônica $R_c=0,185$). A temperatura foi o parâmetro que apresentou a maior correlação com o segundo eixo ($R_c=-0,188$) (Figura 3). A falta de limites claros entre os pontos mostra uma baixa correlação entre as variáveis ambientais estudadas e a composição de famílias. No entanto, para as unidades amostrais do P1 e P2 foi possível detectar certo agrupamento sazonal, em função provavelmente da variação da temperatura, variável mais correlacionada ao segundo eixo da CCA. É possível identificar maior proximidade entre as unidades de verão e outono e entre as unidades de inverno e primavera. Porém, o pequeno afastamento entre as unidades e o fato de haver apenas uma unidade de primavera para cada ponto limita esta interpretação, sendo necessários trabalhos mais extensos para confirmá-la. As unidades do P3 não apresentaram agrupamentos sazonais.

Tabela 2 - Dados abióticos (vazão, temperatura, pH e condutividade) em aferições mensais, no rio Mãe Luzia, Treviso, SC.

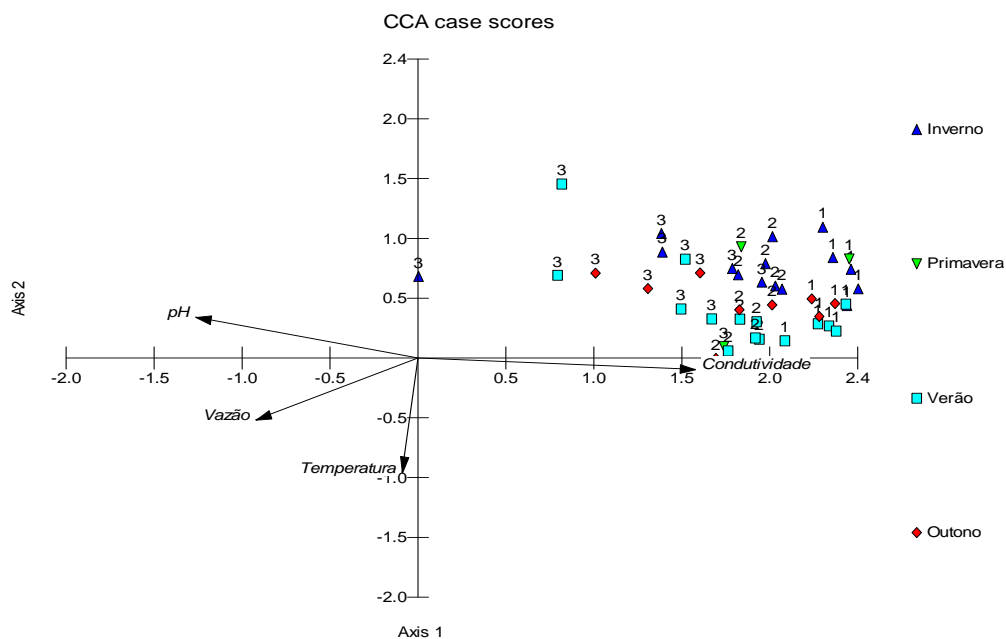
| | Vazão (L/s) | | | Temperatura (°C) | | |
|-----|-------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| Set | 130,80 | 1252,43 | 164,78 | 16,00 | 16,50 | 18,60 |

Tecnologia e Ambiente

Unesc - Criciúma - Santa Catarina

| | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Out | 538,61 | 1489,95 | 1745,58 | 20,60 | 18,10 | 23,00 |
| Nov | 232,73 | 486,40 | 638,04 | 21,40 | 23,75 | 26,61 |
| Dez | - | - | - | 22,50 | 21,50 | 21,90 |
| Jan | 779,63 | 1318,65 | 1429,56 | 26,20 | 21,90 | 26,35 |
| Fev | 1359,38 | 1963,41 | 2126,19 | 22,65 | 21,50 | 23,60 |
| Mar | 299,60 | 370,49 | 536,90 | 25,70 | 25,20 | 26,80 |
| Abr | 540,43 | 1005,63 | 1283,32 | 22,35 | 23,15 | 26,50 |
| Mai | 466,20 | 802,22 | 1024,13 | - | - | - |
| Jun | 140,40 | 343,22 | 566,62 | 17,45 | 18,30 | 17,75 |
| Jul | 247,50 | 426,71 | 536,97 | 17,40 | 15,15 | 18,90 |
| Ago | 329,51 | 832,40 | 930,00 | 19,90 | 17,00 | 20,60 |

| | pH | | | Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) | | |
|-----|------|------|------|------------------------------------|--------|---------|
| Set | 7,20 | 6,60 | 4,30 | 76,00 | 85,00 | 713,00 |
| Out | 6,27 | 6,90 | 4,20 | 58,10 | 122,00 | 478,00 |
| Nov | 6,45 | 6,76 | 4,87 | - | - | - |
| Dez | 6,97 | 7,05 | 4,06 | 60,50 | 64,60 | 1219,00 |
| Jan | 7,27 | 7,16 | 4,49 | 60,80 | 63,25 | 667,00 |
| Fev | 7,19 | 6,76 | 5,34 | 56,70 | 63,85 | 480,30 |
| Mar | 7,84 | 7,72 | 5,06 | 86,00 | 110,80 | 1199,00 |
| Abr | 7,35 | 7,49 | 4,75 | 84,85 | 110,25 | 776,00 |
| Mai | - | - | - | - | - | - |
| Jun | 7,02 | 7,28 | 5,08 | 61,90 | 97,95 | 409,00 |
| Jul | 7,27 | 7,03 | 4,92 | 61,40 | 89,00 | 580,50 |
| Ago | 6,80 | 6,70 | 5,80 | 65,30 | 89,10 | 789,00 |



Vector scaling: 5.60

Figura 3. Análise de correspondência canônica entre as variáveis pH, condutividade, vazão e temperatura e a biota aquática dos pontos amostrais 1, 2 e 3, removendo todas as unidades amostrais com dados incompletos.

Discussão

A riqueza de famílias encontrada no presente trabalho é bastante similar à encontrada por Bueno et al. (2003) em rios pertencentes à Bacia do Rio das Antas e à Bacia do Rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, por Baptista et al. (2001) na Bacia do Rio Macaé, no estado do Rio de Janeiro e por Kikuchi e Uieda (1998) na Bacia do Paranapanema, no estado de São Paulo. A redução da biodiversidade, tanto em termos de riqueza quanto de abundância, do P1 ao P3 correspondeu ao maior grau de impacto do rio no P3. Resultados semelhantes foram obtidos por Dickens e Graham (1998) nos rios Umthinzima, Mpophomeni, Mgeni e Darvill, em região de mineração na África do Sul.

A maior abundância das famílias de EPT no P1 é indicativo de melhor qualidade ambiental, pois são organismos extremamente sensíveis e, portanto, os primeiros a sofrer com os impactos da poluição (TAYLOR; BAILEY, 1997). Wallace e Anderson (1996) e Bueno et al. (2003) salientam que maiores valores de riqueza de EPT também são bons indicadores de ambientes preservados. A observação de declínio na abundância ou riqueza dos taxa de EPT é um forte indicativo de impacto ambiental (TAYLOR; BAILEY, 1997), com a exclusão de espécies sensíveis e moderadamente sensíveis (FIGUEROA et al., 1999; YANDORA, 2000). No P2 houve pequena redução no número de indivíduos, mais nitidamente de Leptophlebiidae (Ephemeroptera), porém a riqueza foi a mesma encontrada no P1. No P3 a riqueza e a abundância de EPT estavam drasticamente reduzidas, sendo o único ponto onde a abundância de EPT foi menor do que a abundância das famílias de outras ordens. A coleta de EPT no P3 coincidiu com valores elevados de vazão, sendo possivelmente resultado de carreamento a partir de locais a montante, fato que explicaria a presença destes organismos em águas tão poluídas. Bispo e Oliveira (1998), em trabalho realizado em córregos de Cerrado no Parque Ecológico de Goiânia, descreveram que o aumento da vazão acarreta num grande transporte de indivíduos rio abaixo.

Um dos fatores abióticos possivelmente relacionado a mudanças na composição da comunidade bentônica é a pluviosidade. A redução verificada na abundância no P2 em setembro, outubro e novembro coincidiu com períodos de fortes chuvas nos dias anteriores às amostragens, fenômeno também observado por outros autores (CARVALHO; UIEDA, 2004; GONÇALVES; ARANHA, 2004). Na ocorrência de fortes chuvas, por outro lado, foi registrada maior abundância no P3, provavelmente relacionado à diluição dos efluentes e ao carreamento dos insetos de locais a montante. Kikuchi e Uieda (2005) verificaram que haveria relação entre a maior densidade e riqueza de espécies com a vazão, pois no período seco os organismos não são facilmente removidos pela corrente de água, devido ao menor volume e velocidade.

Comparando-se as estações do ano, os maiores valores de abundância foram registrados no verão e os menores na primavera. Bueno et al. (2003) afirmam que a primavera é a época reprodutiva da maioria dos insetos aquáticos, resultando em redução na abundância dos mesmos naqueles ambientes. O aumento populacional ocorreria, assim, após a época reprodutiva, no período de verão e outono. Resultados

semelhantes foram descritos por Kikuchi e Uieda (1998), em que os insetos foram encontrados com maior frequência nos meses subseqüentes à época de reprodução.

No presente estudo apenas a análise de ordenação, CCA, foi suficientemente sensível para detectar diferenças na composição da comunidade de insetos bentônicos entre P1 e P2. Os índices de diversidade, por sua vez, foram eficientes apenas em detectar diferenças entre P3 e os demais pontos. Entre os parâmetros abióticos avaliados, o pH, a condutividade e a temperatura apresentaram maiores correlações com a variação observada na comunidade bentônica. Os menores valores de pH no P3 possivelmente resultam do processo de oxidação da pirita decorrente da exposição de resíduos de carvão (CAMPOS et al., 2003), enquanto que a elevada condutividade é resultado de uma maior concentração de íons dissolvidos (CREPALDI, 2003), especialmente sulfatos (BRUSCHI-JÚNIOR et al., 2000).

A correlação entre a diversidade e alterações no pH e na condutividade está relativamente bem estabelecida na literatura. Silveira (2004) afirma que baixos valores de pH interferem diretamente na comunidade de insetos bentônicos, enquanto que Almada e Würdig (2000) observaram maiores abundâncias em águas com pH neutro. Courtney e Clements (2002), em estudo no rio Animas (USA), detectaram sensibilidade de EPT à presença de metais na água. A redução na abundância de EPT no P2 e de riqueza e abundância no P3 pode estar, assim, diretamente relacionada à maior concentração de íons nestes locais, alterando a condutividade no primeiro e também o pH no segundo.

Deve-se considerar ainda que, embora não tenha sido mensurado, observou-se maior presença de folhicho no P1, o que pode ter influência sobre a abundância e riqueza de insetos bentônicos. Bueno et al. (2003), Kikuchi e Uieda (2005) registraram que, em locais onde havia maior aporte de matéria vegetal para o curso d'água, a biodiversidade era mais elevada. Segundo Bispo e Oliveira (1998) os insetos aquáticos podem agregar-se em locais onde existe maior abundância de detritos vegetais, elevando a possibilidade de formação de microhabitats, sendo o folhicho utilizado tanto como alimento quanto como abrigo. A estrutura biológica depende, assim, da qualidade da água, do substrato de fundo e da intensidade da poluição (ALMADA; WÜRDIG, 2000).

O presente trabalho fornece informações pioneiras sobre diversidade, riqueza e abundância de insetos bentônicos para cursos d'água do sul de Santa Catarina. Os resultados obtidos no rio Mãe Luzia indicam que o monitoramento da abundância dos táxons sensíveis, tais como EPT, aliado ao uso de análises de ordenação constituem-se em ferramentas úteis no acompanhamento de impactos em sistemas lóticos. A elevada biodiversidade encontrada no ponto não impactado demonstra que a preservação dos trechos não poluídos dos cursos d'água reveste-se de grande importância para o estabelecimento e manutenção de várias famílias de organismos bentônicos nas bacias da região.

Agradecimentos

Ao Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (SIECESC) pela bolsa de estudos concedida. Aos revisores anônimos pelas críticas e sugestões.

Referências Bibliográficas

ADAMS, S. M. Biomarker/bioindicator response profiles of organisms can help differentiate between sources of anthropogenic stressors in aquatic ecosystems. **Biomarkers**, v. 6, n. 1, p. 33-44, 2001.

ALEXANDRE, N. Z. Diagnóstico ambiental da região carbonífera de Santa Catarina: degradação dos recursos naturais. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n.2, p. 35-50, 1999.

ALMADA, C. M. W.; WÜRDIG, N. L., Avaliação da Fauna Bentônica em Ambiente Aquático. In: Centro de Ecologia/UFRGS. **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. p.784-791.

BAPTISTA, D. F. et al. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n. 2, p. 295-304, 2001.

BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. **Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish**. 2 ed. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.

BISPO, P. C.; OLIVEIRA, L. G. Distribuição espacial de insetos aquáticos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos de cerrado do Parque Ecológico de Goiânia, Estado de Goiás. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de Insetos Aquáticos**. Series Oecologia Brasiliensis, Vol. V. PPGE – UFRJ. Rio de Janeiro, p.175-189, 1998.

BISTHOVEN, L.J.; NUYTS, P.; GODDEERIS, B.; OLLEVIER, F. Sublethal parameters in morphologically deformed Chironomus larvae: clues to understanding their bioindicator value. **Freshwater Biology**, v. 39, p. 179-191, 1998.

BRUSCHI-JÚNIOR, W. ; MALABARBA, L.R.; SILVA, J.F.P. Avaliação da qualidade ambiental dos riachos através das taxocenoses de peixes. In: Centro de Ecologia/UFRGS. **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p.803-809, 2000.

BUENO, A. A. P.; BOND-BUCKUP, G. Dinâmica populacional de Aegla platensis Schimitt (Crustacea, Decapoda, Aeglidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 1, p. 43-9, 2000.

BUENO, A. A. P. ; BOND-BUCKUP, G.B.; BUCKUP, L. Crescimento de Aegla platensis Schimitt em ambiente natural (Crustacea, Decapoda, Aeglidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 1, p. 51-60, 2000.

BUENO, A. A. P.; BOND-BUCKUP, G.; FERREIRA, B. D. P. Estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos em dois cursos d'água do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 1, p. 115-125, 2003.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Categorização funcional dos macroinvertebrados bentônicos em quatro ecossistemas lóticos sob influência das atividades de uma mineração de bauxita na Amazônia Central (Brasil). In:

CAMPOS, M. L. ; ALMEIDA, J. A. ; SOUZA, L.S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Muller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1123-1137, 2003.

CARVALHO, E. M.; UIEDA, V. S. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n.2, p.287-293, 2004.

CASTRO-SILVA, M.A.; LIMA, A.O.S.; GERCHENSKI, A.V.; JAQUES, D.B; RODRIGUES, A.L.; SOUZA, P.L.; RÖRIG, L.R. Heavy metal resistance of microorganisms isolated from coal mining environments of Santa Catarina. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 34, n. 1, p. 45-47, 2003.

CITADINI-ZANETTE, V; BOFF, V. P. **Levantamento florístico em áreas mineradas a céu aberto na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1992.

COMPIN, A.; CÉRÉGHINO, R. Sensitivity of aquatic species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system (France). **Ecological Indicators**, v. 3, p. 135-142, 2003.

COURTNEY, L. A.; CLEMENTS, W. H. Assessing the influence of water and substratum quality on benthic macroinvertebrate communities in a metal-polluted stream: an experimental approach. **Freshwater Biology**, v. 47, p. 1766-1778, 2002.

CREPALDI, C. **Análise de parâmetros do monitoramento ambiental da Mina do Trevo – Siderópolis, SC**. 2003. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DICKENS, C.W.S.; GRAHAM, P.M. Biomonitoring for effective management of wastewater discharges and the health of the river environment. **Aquatic Ecosystem Health & Management Society**, v. 1, p. 199-217, 1998.

FERNÁNDEZ, H. R.; DOMÍNGUEZ, E. **Guia para la Determinación de los Artrópodos Bentônicos Sudamericanos**. Tucumán – Argentina: Universidad Nacional de Tucumán/Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, 2001.

FIGUEROA, R. et al. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de calidad de agua. **VI Jornadas del CONAPHI-CHILE**. 1999. 24 p.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F.A.R. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, p. 545-552, 2000.

GAIVIZZO, L. H. B. ; VIDOR, C. ; TEDESCO, M. J. Recuperação de áreas utilizadas para depósitos de rejeitos de minas de carvão. In: Centro de Ecologia/UFRGS. **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p.480- 491, 2000.

GONÇALVES, F. B.; ARANHA, J. M. R. Ocupação espaço-temporal pelos macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Ribeirão, Paranaguá, PR (Brasil). **Acta Biológica Paranense**, v. 33, n. 1,2,3,4, p. 181-191, 2004.

HARDERSEN, S. The role of behavioural ecology of damselflies in the use of fluctuating asymmetry as a bioindicator of water pollution. **Ecological Entomology**, v. 25, p. 45-53, 2000.

KIKUCHI, R. M.; UIEDA, V. S. Composição da comunidade de invertebrados de um ambiente lótico tropical e sua variação espacial e temporal. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de Insetos Aquáticos**. Série Oecologia Brasiliensis, Vol. V. PPGE – UFRJ. Rio de Janeiro, p.157-173, 1998.

KIKUCHI, R. M.; UIEDA, V. S. Composição e distribuição dos macroinvertebrados em diferentes substratos de fundo de um riacho no município de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Entomology and Vectors**, v. 12, n. 2, p. 193-231, 2005.

LEUNG, B. Fluctuating Asymmetry as a Bioindicator of Stress: Comparing Efficacy of Analyses Involving Multiple Traits. **American Naturalist**, v. 155, n. 1, p. 34-89, 2000.

MACAN, T. T. **Guia de animais: Invertebrados de agua dulce**. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra, S. A., 1975.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. London: Chapman & Hall, 1988. 179p.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S; STAFFORD, S. **Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research**. New York: Springer-Verlag, 2000.

MELO, A. S. Diversidade de macroinvertebrados em riachos. In.: CULLEN JUNIOR, I.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.) **Métodos de Estudos em biologia**

da conservação e manejo da vida silvestre. Paraná: UFPR/Fundação O Boticário de proteção à natureza, p. 69-90, 2003.

MERRIT, R. W; CUMMINS, K. W. **An introduction to the aquatic insects of North America.** 2.ed. USA: Kendall/Hunt Publishing Company, 1996.

METCALFE, J. L. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. **Environmental Pollution**, Canadá, v. 60, p. 101-139, 1989.

NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de insetos aquáticos.** Series Oecologia Brasiliensis, vol. V. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro, p. 223-234, 1998.

NIESER, N.; MELO, A. L. **Os heterópteros aquáticos de Minas Gerais: Guia introdutório com chave de identificação para as espécies de *Nepomorpha* e *Gerromorpha*.** Belo Horizonte: UFMG, 1997.

RESH, V. H.; JACKSON, J. K. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg, D. M.; Resh, V. H. (Eds.), **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** London: Chapman and Hall, p. 195-223, 1993.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates: Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates.** London: Chapman & Hall, p.: 195-233, 1993.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2004. (documentos 36).

TAYLOR, B. R.; BAILEY, R. C. **Aquatic effects technology evaluation (AETE) program: Technical evaluation on methods for benthic invertebrate data analysis and interpretation.** Ottawa, Ontario: Prepared for Canada center for Mineral and Energy Technology, 1997.

TUNDISI, J. G. **Seminários temáticos para a 3ª Conferência Nacional de C, T & I: Recursos Hídricos.** n. 20, 2005.

WALLACE, J. B.; ANDERSON, N. H. Habitat, life history, and behavioral adaptations of aquatic insects. In: MERRIT, R. W; CUMMINS, K. W. **An introduction to the aquatic insects of North America.** 2.ed. USA: Kendall/Hunt Publishing Company, p. 41-73, 1996.

YANDORA, K. **Rapid Bioassessment of Benthic Macroinvertebrates illustrates water quality in small order urban streams in north Carolina Piedmont City.** 2000.