

INSETOS BENTÔNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREAS REABILITADAS APÓS MINERAÇÃO DE CARVÃO A CEÚ ABERTO NO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL

BENTHIC INSECTS AS INDICATORS OF WATER QUALITY IN AREAS RECLAIMED AFTER SURFACE COAL MINING IN SOUTHERN SANTA CATARINA STATE, BRAZIL

Thaiane da Silva

Teixeira Campos

Mestrado em Ciências
Ambientais, E-mail:
thai_t19@hotmail.com

Birgit Harter-Marques

Doutora em Ciências
Naturais, Professora do
Programa de Pós-
Graduação em Ciências
Ambientais (PPGCA),
Universidade do Extremo
Sul Catarinense (UNESC),
Criciúma, SC. E-mail:
bhm@unesc.net

RESUMO

A qualidade dos recursos naturais no sul catarinense sofreu um impacto negativo com a atividade mineradora do carvão no final do século XIX. Projetos de recuperação ambiental estão sendo implantados há quase uma década, modificando o cenário da qualidade ambiental na região. A Companhia Siderúrgica Nacional já reabilitou mais de 135 ha, sendo a área conhecida como campo Mina Malha II Leste a com estágio mais avançado de reabilitação, localizada no município de Siderópolis. O objetivo deste trabalho foi verificar se o processo reabilitação das áreas degradadas resulta em uma melhora na qualidade da água, utilizando os insetos bentônicos como indicadores. As coletas da fauna aquática foram realizadas na sub-bacia do rio Fiorita, durante um ano, com amostragens mensais em três pontos (P01, P02 e P03). O P01 se encontra em áreas que não sofreram influência ambiental, mantendo as condições naturais da água; o P02 está localizado em uma área reabilitada e o P03 em uma área degradada. Os resultados obtidos comprovaram o sucesso do processo da reabilitação ambiental, de maneira que o P01 teve a maior riqueza e abundância; o P02 uma riqueza satisfatória, que respondeu as expectativas do presente estudo, enquanto o P03 obteve baixíssima riqueza e abundância.

Palavras-chave: Mineração de carvão, Biodiversidade, Biomonitoramento, rio Fiorita.

ABSTRACT

The quality of natural resources from south of Santa Catarina state suffered a negative impact with coal mining activity in the late nineteenth century. Projects of an environmental recovery are being implemented over a decade, changing environmental quality settings of the region. The 'Companhia Siderúrgica Nacional' has already reclaimed 135 ha, being the area known as Campo Malha II Leste one with the most advanced rehabilitation stage, located in the Siderópolis municipality. The aim of this work was to determine whether the reclaiming of the areas results in an improvement in water quality using benthic insects as indicators and, water influence the benthic fauna. The aquatic fauna samples were carried out in the sub-basin of the Fiorita river, during one year, monthly, in three points (P01, P02 e P03). The P01 is located in areas which no suffered environmental influences, maintaining the natural water conditions; the P02 is located in rehabilitated area, and the P03 in a degraded area. The results obtained proved the success of environmental recovery, so that point P01 showed the highest abundance and richness; point P02 had a satisfactory richness and reached the study expectative, while the P03 got very low richness and abundance.

Keywords: Coal Mining, Biodiversity, Biomonitoring, river Fiorita.

1. INTRODUÇÃO

No extremo sul catarinense, uma das atividades que contribuíram para o comprometimento do solo e da água foi a exploração de carvão, a qual, de forma avassaladora, perdurou por mais de 100 anos na região Carbonífera de Santa Catarina, comprometendo, assim, a maioria dos recursos naturais dessa região (SOARES; TRINDADE, 2002).

Dessa forma, os rios da região carbonífera, localizados nas bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, foram fortemente prejudicados. A área de drenagem do rio Araranguá é de aproximadamente 3.039 km², com um comprimento de 5.021 km de rio, sendo este o mais impactado, se comparado com os outros rios da região. Um dos formadores principais do rio Araranguá é o rio Mãe Luzia, que apresenta comprometimento qualitativo decorrente, principalmente, dos resíduos da extração de carvão (CETEM, 2009).

O rio Fiorita, um dos principais afluentes do rio Mãe Luzia, colaborou para os índices de degradação dos recursos hídricos e desempenhou um papel importante na qualidade ambiental da sub-bacia estudada, pois a mineração na área se deu por meio do beneficiamento dos estereis de mineração de carvão a céu aberto, num total de 627 hectares, contribuindo para a poluição hídrica da região (BACK, 2009).

Atualmente, esse cenário começou a ser modificado por meio da execução de projetos de recuperação ambiental, os quais devem atender aos critérios técnicos estabelecidos pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA), formado pelo Ministério Público Federal, pelo IBAMA, pela FATMA, pela CPRM, pelos Comitês de Bacias Hidrográficas e pelas empresas carboníferas, dentre outros. Um dos itens constantes nos programas e projetos de recuperação de áreas degradadas é a realização do monitoramento ambiental, visando constatar a eficácia dos métodos empregados na melhoria dos recursos hídricos e do solo.

O uso consciente da água é um pré-requisito chave para o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, diversos autores vêm desenvolvendo indicadores ambientais físicos, químicos ou biológicos, que buscam avaliar a qualidade da água (BARBOSA, 2003; SILVEIRA, 2007; GONÇALVES, 2007; GOMES; PEÑA; PIMENTA, 2009; BIASI et al., 2010; COPATTI; SCHIRMER; MACHADO, 2010). Segundo Santos (2004), esses indicadores são parâmetros ou funções derivadas deles, os quais têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio. Os indicadores biológicos ou bioindicadores são espécies de animais ou vegetais utilizados para controlar os poluentes de um ambiente ou ecossistema cuja função, população ou *status*, pode ser usada para determinar o ecossistema ou a integridade ambiental (SONODA, 2009).

De modo geral, uma das principais comunidades que habitam o ecossistema aquático, e que

são considerados ótimos bioindicadores, são os macroinvertebrados bentônicos, que habitam o fundo desses sistemas (córregos, rios e lagos), os quais são constituídos por diversos táxons (SILVA, 2008). Segundo Santos (2004), esses indicadores são parâmetros ou funções derivadas deles, que têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio. Os indicadores biológicos ou bioindicadores são espécies de animais ou vegetais utilizados para controlar os poluentes de um ambiente ou ecossistema cuja função, a população, ou status pode ser usado para determinar ecossistema ou a integridade ambiental. (SONODA, 2009).

O objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças das comunidades de insetos bentônicos e verificar a qualidade da água ao longo de um trecho do rio Fiorita em Siderópolis, SC, sob diferentes graus de perturbação.

De modo específico, pretende-se caracterizar a estrutura da comunidade bentônica em três pontos do rio Fiorita, com diferentes graus de alteração antrópica; comparar a riqueza em nível de família e a abundância dos indivíduos entre os pontos amostrais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

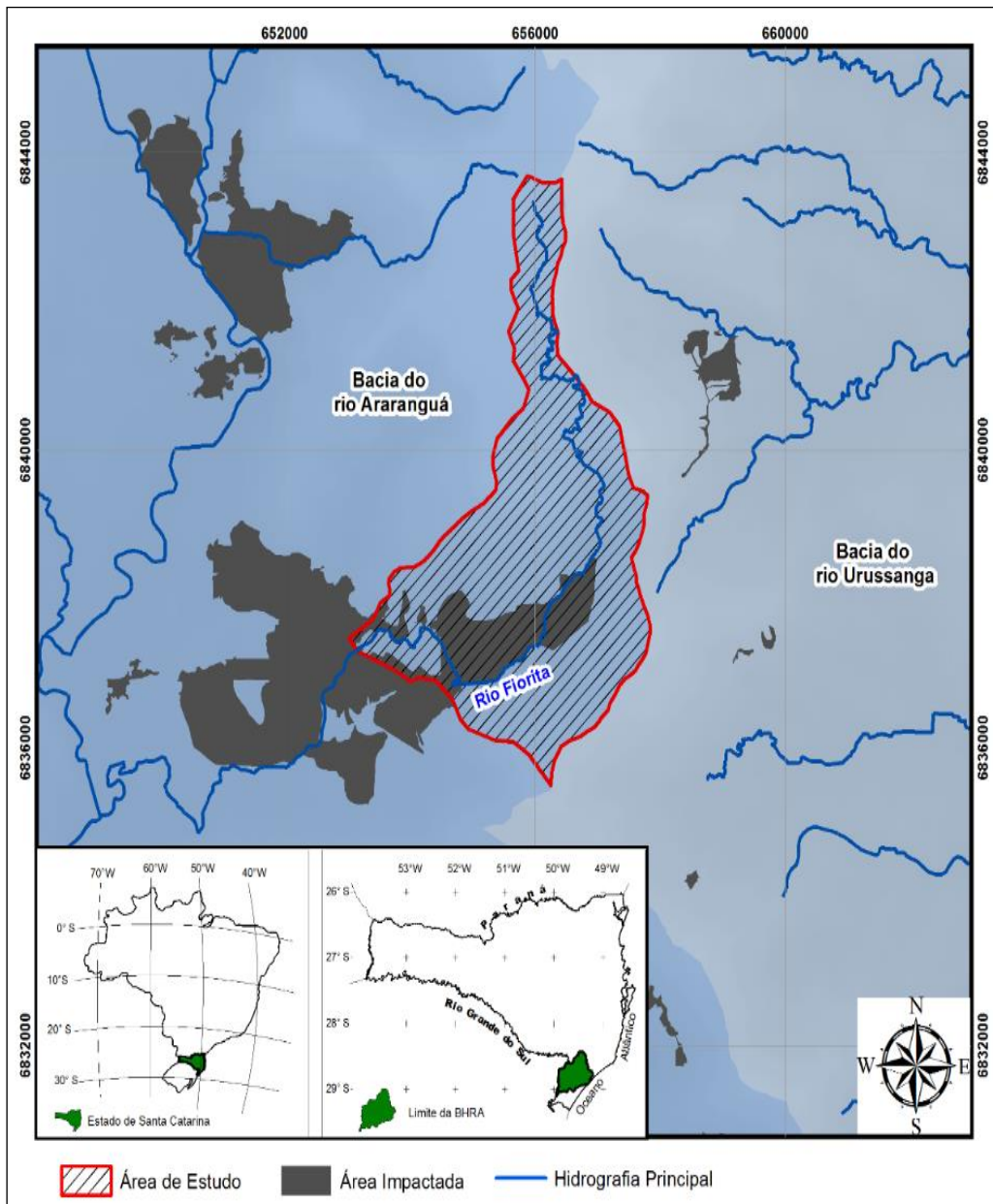
A área estudada engloba os Campos denominados Malha II Norte, Malha II Oeste e Malha II Leste, situando-se nas coordenadas geográficas 28°35'S, 49°25'W e altitude de 120 metros (Figura 1), no município de Siderópolis, SC. Localiza-se na sub-bacia do rio Fiorita, afluente da margem esquerda do rio Mãe Luzia, pertencente à Bacia Hidrográfica do Araranguá (IPAT, 2002a). O rio Fiorita é um dos principais afluentes do rio Mãe Luzia e sua degradação ocorreu por meio do beneficiamento de mineração de carvão a céu aberto e subterrânea, que atingiu um total aproximado de 627 hectares (BACK, 2009).

Reconstrução do solo e da vegetação

A área selecionada para pesquisa sofreu uma acentuada alteração ambiental devido à mineração de carvão a céu aberto no século XX. Os campos de lavra nela inseridos são denominados Malha II Leste e Malha II Oeste, os quais já estão em processo de reabilitação, e Malha II Norte, que ainda está em estágio característico de deterioração, inclusive com água de baixa qualidade.

Os Campos Malha II Leste e Malha II Oeste localizam-se à noroeste da cidade de Siderópolis (SC) e pertencem, em parte, à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). No século passado, ocorreu nesse local uma intensa extração de carvão a céu aberto, desenvolvida pela CSN (LOPES PROJETOS AMBIENTAIS E CONSULTORIA LTDA., 2000; NICOLEITE, 2010). Segundo o Diagnóstico Ambiental do ano de 2002 (IPAT, 2002a), os Campos Malha II Leste e Oeste perfazem um total de 195 ha. Desse total, 60 ha são áreas degradadas nas quais existiam pilhas de estéreis e, em menor grau, depósitos de rejeitos, somando 54 ha, além de cavas alagadas em 6,0 ha.

Figura 1 - Localização da área de estudo no Campo Malha II, município de Siderópolis, SC.



Fonte: 11º Relatório de Monitoramento da Malha Leste (CTCL/SATC, 2011).

Em meados de 2002, foram elaborados o Diagnóstico Ambiental e o PRAD (IPAT, 2002b). Os trabalhos de reabilitação das áreas Campo Malha II Leste e Malha II Oeste foram iniciados no ano 2003, sendo executados de acordo com as seguintes etapas: separação e isolamento dos rejeitos em célula compactada e geotecnicamente isolada; remodelagem do terreno por trabalhos de terraplanagem baseada em estudos geotécnicos; incorporação de calcário em pó aos estéreis remodelados na proporção de 25 a 30t/ha; recobrimento da camada de estéreis com argila (de 20 a 50 cm – variável com a litologia sobreposta); incorporação de calcário e argila; incorporação de cama de aviário ao substrato argiloso; recobrimento do solo com turfa de raspagem estabilizada;

implantação de canaletas de concreto nas vias de trânsito de veículos automotores para drenagem das águas superficiais e sistema de drenagem superficial no interior da área, com base na engenharia naturalística (uso de materiais naturais e biodegradáveis para condução das águas); revegetação de espécies vegetais herbáceas por meio de semeadura manual a lanço e arbóreas com saquará; abertura de covas, correção do solo e plantio de mudas de espécies vegetais pioneiras, secundárias e climácicas em toda a área; monitoramento ambiental durante todo o período de reabilitação, incluindo quanto à qualidade da água (superficiais e subsuperficiais) e do solo e quanto à fauna e à flora.

Para recompor a vegetação da área impactada no planejamento ambiental voltado para as áreas Malha II Leste e Malha II Oeste, foram implantadas “ilhas de diversidade” no período de janeiro de 2006 a julho de 2008, o que consistiu na introdução de uma espécie clímax cercada por espécies secundárias iniciais e tardias, espaçadas dois metros umas das outras. Desse modo, proporcionou-se o retorno da área a uma condição florística autossustentável (IPAT, 2002c).

As atividades de reabilitação ambiental realizadas no Campo Malha II Leste e no Campo Malha II Oeste foram encerradas no ano de 2006. A análise dos resultados obtidos a partir do monitoramento ambiental do Campo Malha II Leste no ano de 2011 apresentou uma evolução na qualidade dos recursos naturais do local do estudo. Os resultados mostraram uma melhora significativa dos indicadores monitorados analisados (i. e. os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, os sedimentos, o solo, os locais com risco geotécnico, a flora e a fauna) em comparação com as áreas não recuperadas localizadas em suas adjacências, como é o caso do Campo Malha II Norte (CTCL/SATC, 2011).

O clima da região sul de Santa Catarina, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, sem estação seca definida (OMETTO, 1981). O município de Siderópolis está localizado a uma distância consideravelmente pequena da escarpa da Serra Geral e, por isso, está sujeito a receber a contribuição de chuvas orográficas. Dessa maneira, os Campos Malha II Leste e Oeste tendem a ter um nível pluviométrico maior que o de outras áreas do extremo sul catarinense (CTCL/SATC, 2011).

A temperatura média do ar na região carbonífera é de 19,6 °C, enquanto que a precipitação média é de 1.400 a 1.600 mm/ano, não havendo índices pluviométricos mensais abaixo de 60 mm (EPAGRI; CIRAM, 2001).

A geologia da bacia hidrográfica do Araranguá é representada por sedimentos gonduânicos e por significativos falhamentos (CASAN, 1995). O relevo dessa região é do tipo côncavo-convexo, caracterizado pela presença de vales abertos, entremeados por vales residuais de topo plano, que é mantido por rochas mais resistentes das quais fazem parte os patamares da Serra Geral (SANTA CATARINA, 1986).

A área ocupada pelo Campo Malha II Leste encontra-se em zonas de transição entre as escarpas da Serra Geral e as planícies costeiras do litoral sul-catarinense, em uma altitude de 147m, o que caracteriza a vegetação como Floresta Ombrófila Densa Submontana.

A vegetação natural da região do estudo pertence, originalmente, à Floresta Ombrófila Densa, parte do Domínio Mata Atlântica (TEIXEIRA, 1994). Essa tipologia florestal acompanha a Costa Atlântica em uma estreita faixa que fica próximo ao litoral, estende-se dentro do espaço subtropical, desde o estado do Rio Grande do Norte até a metade norte.

Para Leite e Klein (1990), a composição florística da Floresta Ombrófila Densa é uma das formações mais diversificadas, possuindo uma alta taxa de endemismo no sul do Brasil.

Critérios para o posicionamento dos pontos de amostragem

A locação dos pontos de monitoramento é uma etapa crítica para a obtenção de resultados consistentes, pois, pela disposição dos pontos, deseja-se conhecer a interação da qualidade da água do rio Fiorita com a disposição das áreas reabilitadas e degradadas e, assim, buscar formas de analisar os dados coletados com maior precisão. Foram determinados três pontos para monitoramento, os quais foram denominados P01 (controle), P02 e P03 (Figura 2). Os pontos escolhidos possuem diferentes graus de perturbação em relação aos parâmetros fisiográficos, tais como fontes de poluição, estrutura da mata ciliar, leito do rio, entre outros.

O ponto 01 (P01) (SAD69/UTM 656920E; 6838581N), situado no montante da área reabilitada, não está sob uma influência dos passivos ambientais da mineração, apresentando excelentes condições de integridade ambiental. Portanto, o objetivo da amostragem desse ponto é exemplificar a diversidade das famílias de insetos bentônicos existentes no rio Fiorita.

O ponto 02 (P02) (SAD69/UTM 655715E; 6837173N) localiza-se no centro das áreas reabilitadas do Campo Malha II Leste, sendo que, com ele, se objetiva determinar se a qualidade da água desse ponto está sendo influenciada positivamente em resposta aos trabalhos de reabilitação.

O ponto 03 (P03) (SAD69/UTM 654450E; 6837458N) localiza-se na área pertencente à Carbonífera Beluno, que é degradada e não foi reabilitada (Malha II Norte). O objetivo da localização desse ponto é averiguar o grau de poluição que essa área proporciona para a qualidade da água do rio Fiorita, relacionando isso à riqueza e à diversidade dos insetos bentônicos.

Procedimentos de campo e laboratório

Foram coletadas amostras biológicas, mensalmente, nos três pontos amostrais, durante 12 meses (de fevereiro/2011 a janeiro/2012). As amostragens mensais foram realizadas com o auxílio de uma rede entomológica Súrber, medindo 46cm (L) x 33cm (A) x 79cm (P), com malha de 1mm.

A técnica empregada foi a virada de pedras e o revolvimento de substratos no fundo do rio a cada 1m, ao longo de 10m em cada ponto amostral. Foi colocado o Súrber a jusante do ponto a ser amostrado e, em seguida, revolvidas as pedras, visando deslocar os insetos e os detritos orgânicos para dentro do amostrador, utilizando a corrente de água como apoio no desalojamento dos insetos para coletá-los (adaptado de RODRIGUES, 2006). As amostras resultantes foram previamente triadas em campo e conservadas em frasco com álcool 70%.

As amostras resultantes quanto aos insetos bentônicos foram levadas para o Laboratório de Interação Animal – Planta (LIAP) da Universidade do Extremo Sul Catarinense. Os organismos foram identificados em nível de família, utilizando-se um estereomicroscópio com o aumento máximo de 80 vezes, chaves de identificação taxonômicas (BORROR; DELONG, 1969; COSTA; IDE; SIMONKA, 2006; MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2009) e o acervo macrobentônico do LIAP. Após a identificação, os mesmos foram etiquetados e incluídos na coleção entomológica do LIAP.

Análise dos dados

O material biológico foi analisado quantitativamente e qualitativamente, utilizando-se listagens e calculando-se a riqueza (S) e a abundância (n) em nível de família. Além disso, foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e de equitabilidade (J'), também em nível de família.

Para cada família coletada, foi determinada, em cada ponto amostral, a medida faunística da constância pela equação: $C = \frac{(p \times 100)}{N}$, apresentada em Silveira Neto et al. (1976), onde: C= constância em percentual; p = número de coletas contendo a espécie em estudo; N = número total de coletas efetuadas.

Assim, as espécies foram classificadas em constantes (quando presentes em mais de 50% das coletas), acessórias (as encontradas entre 25% e 50% das coletas) ou acidentais (presentes em menos de 25% das coletas).

Para verificar se a quantidade amostral foi suficientemente adequada para representar a entomofauna bentônica da área de estudo, foi desenvolvida a curva de acumulação.

A similaridade da riqueza em nível de família entre os três pontos foi analisada, utilizando-se o índice de Jaccard.

Todos os testes estatísticos foram realizados no programa estatístico PAST 4.0 (HAMMER et al., 2001). Além disso, foi calculado o índice biótico EPT em cada ponto amostral, relacionando a abundância relativa dos organismos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera com o número total de organismos coletados (EPT/Abundância total). Os resultados foram comparados de

acordo com os critérios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classe de qualidade da água representada pelo índice de EPT

Porcentagem de EPT	Qualidade da Água
75 - 100%	Muito Boa
50 - 74%	Boa
25 - 49%	Regular
0 - 24%	Ruim

Fonte: Adaptada de Carrera e Fierro (2001).

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abundância, Riqueza Taxonômica e Constância

Durante o período de estudo, foi encontrado um total de 2.134 indivíduos de insetos bentônicos pertencentes a 30 famílias e oito ordens nos três pontos amostrais. Dos 2.134 indivíduos, 1.754 ocorreram no P01, 372 ocorreram no P02 e no P03 foram encontrados apenas oito indivíduos (Tabela 2).

Tabela 2 - Taxa e indivíduos coletados nos três pontos amostrais no período de fevereiro de 2011 a janeiro de 2012, no rio Fiorita, Siderópolis, SC.

Ordem	Família	Pontos de amostragem			Total
		P01	P02	P03	
COLEOPTERA	Elmidae	158	57	1	216
	Hidrophilidae	1	0	0	1
	Psephenidae	25	1	0	26
	Total	184	58	1	243
DIPTERA	Ceratopogonidae	3	1	0	4
	Chironomidae	91	28	7	126
	Simuliidae	9	64	0	73
	Tipulidae	141	7	0	148
	Total	244	100	7	351
EPHEMEROPTERA	Baetidae	71	6	0	77
	Caenidae	1	0	0	1
	Leptohyphidae	68	2	0	70
	Leptophlebiidae	279	4	0	283
	Siphonuridae	26	0	0	26
	Total	445	12	0	457
HEMIPTERA	Naucoridae	91	11	0	102
	Pleidae	1	0	0	1
	Vellidae	19	2	0	21
	Total	111	13	0	123
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	3	0	4
ODONATA	Agriidae	3	5	0	8
	Calopterigidae	4	0	0	4

Ordem	Família	Pontos de amostragem			Total
		P01	P02	P03	
PLECOPTERA	Coenagrionidae	53	2	0	55
	Libellulidae	3	3	0	6
	Megapodagrionidae	21	4	0	25
	Total	84	14	0	98
	Gripopterygidae	27	11	0	38
PLECOPTERA	Perlidae	358	14	0	372
	Total	385	25	0	410
	Total de indivíduos	1.754	372	8	2.134
TRICOPTERA	Ecnomidae	26	13	0	39
	Glossosomatidae	13	0	0	13
	Hydrobiosidae	11	9	0	20
	Hydropsychidae	215	109	0	324
	Limnephilidae	31	9	0	40
	Philopotamidae	2	2	0	4
	Polycentropodidae	2	5	0	7
	Total	300	147	0	447

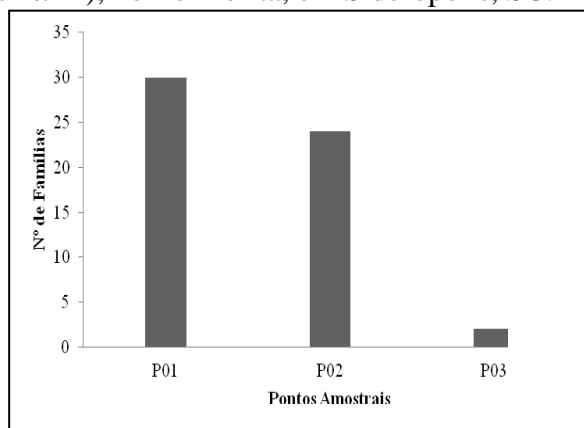
Fonte: Elaborada pela autora (2012).

Um fator que possivelmente contribuiu para a diferença da abundância entre o P01 e o P02, além das características em relação à qualidade da água, é a presença de uma mata ripária bem desenvolvida no P01. A mata ripária influencia consideravelmente nas condições da ciclagem dos nutrientes, contribuindo para a existência de uma maior quantidade de nichos para as espécies (DUTRA, 2006; PARESCHI, 2008; LARA, 2011).

As ordens que apresentaram maior abundância foram Trichoptera e Ephemeroptera, com 477 e 446 indivíduos, respectivamente, seguidas por Plecoptera, com 410 organismos; Diptera, que foi representada por 353 indivíduos; Coleoptera, com 233; Hemiptera, com 124; e Odonata, com 98 indivíduos. Megaloptera foi representada por apenas uma família de quatro indivíduos (Figura 15). Cabe ressaltar que as ordens mais abundantes neste estudo (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) são amplamente considerados bioindicadores para uma boa qualidade de água (GOULART; CALISTTO, 2003).

O maior número de famílias foi encontrado no P01 (30), seguido pelo P02 (24). Já o P03 foi o ponto que apresentou menor riqueza, com apenas duas famílias coletadas (Figura 2) Elmidae (Coleoptera) e Chironomidae (Diptera).

Figura 2 - Riqueza de famílias nos pontos amostrais durante o período de estudo (fevereiro/11 a janeiro/12), no rio Fiorita, em Siderópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora (2012).

Em relação à constância de todas as famílias no P01, dez foram consideradas constantes (Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Baetidae, Perlidae, Elmidae, Psephenidae, Naucoridae, Coenagrionidae, Ecnomidae e Hidropsychidae), dez acessórias (Tipulidae, Megapodagrionida, Hidrobiosidae, Limnephilidae, Glossosomatidae, Griptopterygidae, Veliidae, Agriidae, Siphonuridae e Chironomidae) e dez são acidentais (Caenidae, Libellulidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Hidrophilidae, Pleidae, Calopterigidae, Simuliidae, Ceratopogonidae e Corydalidae).

No P02, cinco famílias se mostraram constantes (Perlidae, Ecnomidae, Hidropsychidae, Elmidae e Simuliidae), dez acessórias (Leptophlebiidae, Baetidae, Griptopterygidae, Limnephilidae, Polycentropodidae, Naucoridae, Megapodagrionidae, Agriidae, Tipulidae e Chironomidae) e nove famílias foram acidentais (Leptohyphidae, Hidrobiosidae, Philopotamidae, Psephenidae, Veliidae, Corydalidae, Libellulidae, Coenagrionidae e Ceratopogonidae).

Os resultados obtidos em relação à abundância, riqueza e constância entre os pontos indicam melhoria das condições ambientais locais no trecho do rio que é circundado por áreas reabilitadas (P02), evidenciada pela recolonização deste ambiente por uma grande parte dos táxons bentônicos adaptados à qualidade da água neste ponto, provavelmente oriundos e arrastados do ponto controle (P01).

Índice de diversidade, equitabilidade, similaridade e Índice de EPT.

O índice de diversidade de maior valor foi observado no P01 ($H' = 2,56$) e o valor de diversidade no P02 foi semelhante ao ponto controle ($H' = 2,35$). Como esperado para se tratar do ponto mais impactado no presente estudo, no P03 o índice de diversidade foi muito baixo ($H' = 0,377$).

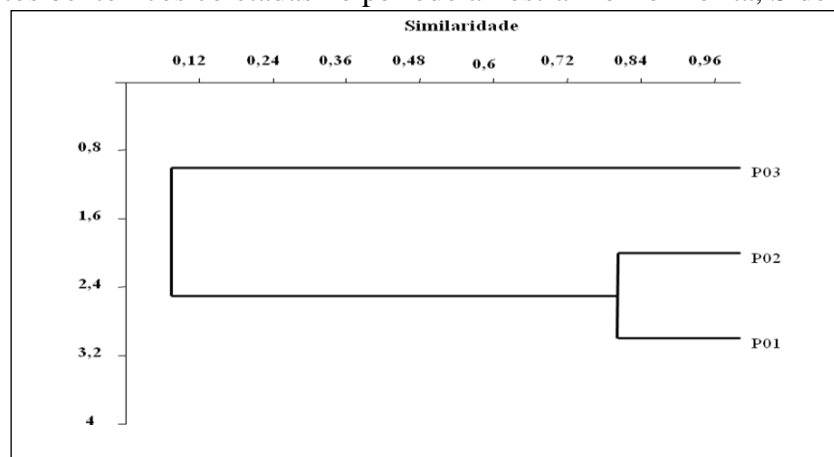
Os índices de diversidade do P01 e P02 podem ser considerados altos quando comparados com os encontrados por Rodrigues (2006) no rio Mãe Luzia, que pertence à mesma subbacia do rio

Fiorito. A autora encontrou um índice de H' de 1,04 e de H' de 1,12 no ponto controle, que apresenta excelentes condições de integridade ambiental com condições de potabilidade da água e, no ponto que recebeu uma pequena contribuição de efluentes da mineração oriundos de pilhas de rejeitos, respectivamente. Mas, o índice do ponto que se encontrava sob maior impacto degradativo (P03) no presente estudo foi muito mais baixo quando comparado ao ponto com maior descarga poluente de Rodrigues (2006), indicando que a qualidade da água no ponto P03 do rio Fiorita é muito comprometida.

A equitabilidade de Pielou entre os pontos amostrais apresentou no P03 o valor mínimo constatado durante o período de estudo ($J' = 0,544$). Os maiores índices foram registrados no P01 ($J' = 0,753$) e no P02 ($J' = 0,74$), certificando-se uma homogeneidade na distribuição dos indivíduos nos táxons registrados em cada ponto amostral.

No estudo, os resultados dos índices de similaridade de Jaccard revelaram que o valor da correlação entre o P01 e o P02 apresentou uma alta similaridade entre a riqueza taxonômica de famílias de insetos bentônicos. Tal característica se refere à representatividade das semelhanças, em que o P01 e o P02 apresentaram índices superiores a 70% (Figura 3). O ponto impactado (P03) apresentou alta dissimilaridade com o P01 e o P02, sendo esse resultado o esperado, visto que o P03 está totalmente descaracterizado com relação à comunidade de insetos bentônicos.

Figura 3 - Dendrograma da análise do agrupamento dos pontos amostrais por meio das quantidades de insetos bentônicos coletadas no período amostral no rio Fiorita, Siderópolis, SC.



Fonte: Elaborado pela autora (2012).

Em relação ao índice de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), para o P01 foi obtido um valor de 64% e para o P02 de 49%, enquanto o índice para o P03 foi zero. Baseando-se nas classes de qualidade da água sugeridas por Carrera e Fierro (2001), as águas do rio Fiorita no P01 podem ser consideradas de boa qualidade e no P02 enquadram-se como regular, indicando que o processo de reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão pode ser considerado eficaz para a melhora da qualidade da água.

4. CONCLUSÃO

O estudo mostrou-se eficaz no que diz respeito à avaliação da qualidade da água por meio da utilização dos insetos bentônicos como ferramenta do monitoramento ambiental em áreas recuperadas pela mineração de carvão. A particularidade de cada ponto foi definida de acordo com os índices bióticos e do índice de qualidade biológica (EPT).

O ponto controle (P01) mostrou em todos os aspectos avaliados resultados que indicam uma boa qualidade da água, confirmando as expectativas iniciais da pesquisa. Apesar de o ponto P02 ter obtido resultados “regulares” em relação aos índices aplicados, os dados da pesquisa mostram que os organismos aquáticos estão retornando para a área em estágio de recuperação. No entanto, é preciso que a mata ciliar esteja recuperada e mais preservada nas áreas que circundam estes trechos do rio estudado, o que contribuiria para a melhora das condições ecológicas das comunidades aquáticas, resultando em um melhor estabelecimento desses organismos. Ainda, ficou evidente que, para ser considerada reabilitada, a área do estudo necessita de um maior período temporal de monitoramento ambiental.

Em relação ao P03, este, como previsto, registrou baixos valores nos índices ecológicos, demonstrando que o rio Fiorita vem sofrendo um forte processo de degradação ambiental, o que gera uma grande diminuição da diversidade dos macroinvertebrados aquáticos. Dessa forma, sugere-se a inclusão do uso de macroinvertebrados bentônicos nos monitoramentos biológicos, como ferramenta dos projetos de manejo na recuperação de áreas degradadas da Região Carbonífera Sul Catarinense.

Agradecimentos

Ao SIECESC pela bolsa de estudos da primeira autora. À CSN pela autorização e disposição da área de estudo. Aos colegas do Laboratório de Interação de Animal-Plantas pela ajuda na identificação dos insetos bentônicos.

REFERENCIAS

- BACK, A. J. Hidrologia e Recursos Hídricos. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. (Orgs.) **Mineração de Carvão, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. 316 p.
- BARBOSA, D. S. Limnologia do Rio Uberaba (MG) e a utilização dos macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores das modificações ambientais. 2003. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-29042009-143849/pt-br.php>>. Acesso em: 18 set. 2010.
- BIASI, C. et al. Biomonitoramento das Águas pelo uso de Macroinvertebrados Bentônicos: Oito anos de Estudos em Riachos da Região do Alto Uruguai (RS). **Perspectiva**, Erechim, v. 34, n. 125, p. 67-

77, 10 mar. 2010. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/new/site/pdfs/perspectiva/125_75.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2010.

BORROR, D. J.; DELONG, D. M. **Introdução aos Estudos dos Insetos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1969. 652 p

CARRERA, C.; FIERRO, K. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Quito: Ecociencia, 2001. 57 p. Disponível em: <<http://www.ecociencia.org/archivos/ManualLosmacroinvertebradosacuaticos-100806.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2012.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. **Metodologia para monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense**: ferramenta para gestão em poluição ambiental. Rio de Janeiro, 2009. 9 p. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2009-160-00.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

CENTRO TECNOLÓGICO DO CARVÃO LIMPO - CTCL; ASSOCIAÇÃO BENEFICENTE DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA DA SANTA CATARINA - SATC. **15º Relatório de Monitoramento Ambiental Campo Malha II Leste, Siderópolis**. Criciúma, 2011. 165 p.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO - CASAN. **Estudo de Impacto Ambiental 1, Barragem do Rio São Bento, Siderópolis, SC** (Magma). 1995, 223p.

COPATTI, C. E.; SCHIRMER, F. G.; MACHADO, J. V. V. Diversidade de Macroinvertebrados Bentônicos na Avaliação da Qualidade da Ambiental de uma Microbacia no Sul do Brasil: Oito anos de Estudos em Riachos da Região do Alto Uruguai (RS). **Perspectiva**, Erechim, v. 34, n. 125, p. 79-91, 17 fev. 2010. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/new/site/pdfs/perspectiva/125_76.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2010.

COSTA, C.; IDE, S.; SIMONKA, C. E. **Insetos imaturos**: metamorfose e identificação. Ribeirão Preto: Holos, 2006. 249 p.

DUTRA, S. L. **Avaliação da biodiversidade bentônica no Vale do Paranã (GO), visando à identificação de áreas prioritárias para conservação**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/3469/1/Silvia%20Leitao%20Dutra.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DE EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI; CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETERIOLOGIA DE SANTA CATARINA - CIRAM. **Dados e informações bibliográficas da unidade de planejamento regional litoral sul catarinense – UPR8**. Florianópolis: Secretaria do Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura, 2001.

GOMES, P. S.; PEÑA, A. P.; PIMENTA, S. M. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomás, Município de Rio Verde – Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 393-412, dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132009000300013&lang=pt>. Acesso em: 08 jan. 2011

GONÇALVES, F. B. **Análise comparativa de índices bióticos de avaliação de qualidade da água, utilizando macroinvertebrados, em um rio litorâneo do estado do Paraná**. 2007. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/19880/1/dissertacao%20Fabio.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2010.

GOULART, M. D.C.; CALLISTO, M. **Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental**. 2003. Disponível em: <<http://www.urisan.tche.br/~briseidy/PsLicenciamentoAmbiental/bioindicadores19.10.2010.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2011.

HAMMER, O. et al. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analyses. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS DA UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – IPAT/UNESC. **Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Leste**,

- Siderópolis, Santa Catarina. Relatório Técnico.** Criciúma: IPAT/UNESC, 2002a. 121p.
- _____. **Projeto de reabilitação ambiental de áreas degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Malha II Leste, Siderópolis, Santa Catarina.** Relatório Técnico. Criciúma: IPAT/UNESC, 2002b. 57p.
- _____. **Projeto de reabilitação ambiental de áreas degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Malha II Oeste, Siderópolis, Santa Catarina.** Relatório Técnico. Criciúma; IPAT/UNESC, 2002c. 66p.
- LARA, F. B. **A comunidade de macroinvertebrados em diferentes substratos de um rio litorâneo no Paraná, Brasil.** 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/25665/Dissertacao_PPGECO_Lara_F.B_2011.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 maio 2012.
- LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. **Geografia do Brasil**, Rio de Janeiro, n. 2, p.113-150, 1990.
- LOPES PROJETOS AMBIENTAIS E CONSULTORIA LTDA. **Projeto de recuperação de áreas degradadas do lote 42 e lote 44**, Siderópolis, SC. Criciúma, 2000. 45 p.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro, Brasil: para atividades técnicas, de ensino.** Rio de Janeiro: Technical Books, 2009. 176 p.
- NICOLEITE, E. R. **Cultivo de samambaia-preta (Rumohra adiantiformis (G. Forst.) Ching) como alternativa socioeconômica e ambiental em áreas de mineração de carvão em Santa Catarina.** 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) -Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000043/0000431E.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2011.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.
- PARESCHI, D. C. **Macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade da água em rios e reservatórios da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacareí (SP).** 2008. 190 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1637/2217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 jun. 2012.
- RODRIGUES, R. C. **Insetos Bentônicos e a sua Relação com a Qualidade da Água no Rio Mãe Luzia, Treviso, SC.** 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2006.
- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa Catarina.** Florianópolis: GASPLAN, 1986. 173 p.
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.
- SILVA, N. T C. **Macroinvertebrados bentônicos em áreas com diferentes graus de preservação ambiental na Bacia do Ribeirão Mestre d'Aramas, DF.** 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/1533/1/Dissertacao_Newton_Tiago.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2012.
- SILVEIRA NETO, S. et al. **Manual de ecologia de insetos.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1976. 419 p.
- SILVEIRA, R. M. **Bioensaios de toxicidade e organismos bioindicadores como instrumento para a caracterização ambiental do Rio Itajaí-Mirim, SC.** 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2007. Disponível em: <http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/28066266.html>. Acesso em: 02 ago. 2010.
- SOARES, P. S. M.; TRINDADE, R. B. E. **Recuperação ambiental de áreas mineradas: uma experiência de gestão. Anais eletrônicos do XIX ENTMH.** Recife, 2002. Disponível em:

<<http://www.cetem.gov.br/publicação/CTs/CT2002-055-00.pdf>>. Acesso em: 30 de mar. 2011.

SONODA, K. C. **Monitoramento biológico das águas no bioma cerrado utilizando insetos aquáticos: uma** revisão. 2009. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31553/1/doc-256.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2015.

TEIXEIRA, M. B. **Vegetação e Uso do Solo de Criciúma**. 2. ed. Porto Alegre: CPRM, 1994. 17 p