

ALGAS EM ÁGUAS IMPACTADAS POR DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS NA REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

A. P. Freitas¹, I. A. Schneider¹, A. Schwarzbald²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais
LEAmet - Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia
Centro de Tecnologia, Av. Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia. CEP: 91501-970. Porto Alegre -
RS

Tel. (0xx) 51 3308 7104, Fax. (0xx) 51 3308 7116.
E-mail: ana.freitas@ufrgs.br , ivo.andre@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Centro de Ecologia, Av. Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia. CEP: 91501-970. Porto Alegre - RS
Tel. (0xx) 51 3308 6774, Fax. (0xx) 51 3308 7626.
E-mail: aschwarzbald@terra.com.br

RESUMO

Locais afetados pela drenagem ácida de minas (DAM), do ponto de vista ecológico, são caracterizados como ecossistemas simples. Seu baixo valor de pH, alta concentração de sulfatos e íons metálicos dissolvidos influenciam os ambientes aquáticos provocando condições de estresse para a maioria dos organismos. Esses ambientes são dominados por organismos acidofílicos e ácido tolerantes, com baixa diversidade biológica. O objetivo do presente trabalho foi identificar as comunidades de algas encontradas em ecossistemas impactados pela DAM na região carbonífera do Estado de Santa Catarina e avaliar a possível papel ecológico dessa comunidade. A comunidade de algas foi representada por 5 táxons, representados pelos gêneros *Microspora*, *Mougeotia*, *Eunotia*, *Frustulia* e *Euglena*. Os gêneros de maior distribuição foram a *Microspora*, presente nos 6 locais amostrados, sendo também o mais bem sucedido nos locais que apresentaram a faixa de pH de 3,3 a 4,1 e o gênero *Eunotia*, presente em 4 locais de amostragem. Observou-se que as algas acidofílicas cresceram em corpos d'água na faixa de pH entre 2,9 e 4,1, sendo que nos locais com pH inferior a 2,8 ou superior a 4,2 não ocorreu o crescimento de algas. Contudo o gênero *Euglena* só foi encontrada em locais onde os teores de sulfatos e ferro foram elevados. Já os gêneros *Frustulia* e *Eunotia* apresentaram-se mais abundantes em locais com maior teor de manganês. Sendo assim, as comunidades de algas encontradas neste estudo apresentam a capacidade de bioindicação da qualidade da água no local. A diversidade e abundância de algas foram maiores no inverno.

Palavras-chave: Drenagem ácida de minas; Algas; Diversidade; Bioindicador; Bioacumulação

1. INTRODUÇÃO

Os rejeitos do beneficiamento de carvão, ricos em sulfetos de ferro (FeS_2), oxidam-se em presença do ar, da água e da ação de bactérias *Acidithiobacillus ferrooxidans*, produzindo a acidificação das águas e a dissolução de metais, originando assim a drenagem ácida de minas (DAM). Esse fenômeno pode ocorrer tanto em minas abandonadas como em operação, e essa acidificação causa impacto nos recursos hídricos e no solo, com danos à biota (Kontopoulos, 1998).

A região carbonífera de Santa Catarina é considerada um importante mercado produtor e consumidor de carvão mineral. A poluição hídrica causada pelas drenagens ácidas é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração, beneficiamento e re-beneficiamento. A poluição afeta significativamente três bacias hidrográficas desta região: a Bacia do Rio Araranguá, a Bacia do Rio Tubarão e a Bacia do Rio Urussanga (CETEM, 2008).

Conforme Valente e Gomes (2007), do ponto de vista ecológico, a DAM influencia os ambientes aquáticos, provocando condições de stress para a maioria dos organismos. O baixo valor de pH (geralmente $< 3,0$) e as altas quantidades de íons metálicos e sulfatos dissolvidos diminuem a diversidade biológica. Assim, recursos hídricos afetados pela DAM podem ser caracterizados como ecossistema simples, dominado por organismos acidofílicos e ácido tolerantes.

De acordo com Niyogi *et al.* (2002), os efeitos do impacto sobre os ecossistemas de água doce têm sido intensamente estudados nas últimas décadas. As pesquisas vêm destacando a interação de fatores impactantes como o pH, metais dissolvidos e deposição de óxidos metálicos com a biodiversidade e produção primária. A drenagem ácida de minas proporciona mudanças nas estruturas das comunidades de algas, com a diminuição de táxons pouco tolerantes e domínio de táxons mais tolerantes, como por exemplo, o *Ulothrix* sp., tornam-se dominantes (Bray, 2007).

Apesar das condições físico-químicas extremas que a DAM impõe, certas comunidades perifíticas se desenvolvem nesse ambiente. Por isso são conhecidas como organismos acidofílicos (limitada para o crescimento em condições ácidas) ou ácido-tolerantes (altamente tolerantes às condições ácidas). Para viverem nestas condições, adaptações são necessárias. O pH no interior das células deve ser neutro, o que é possibilitado por uma membrana plasmática relativamente impermeável, garantindo, assim, a necessidade de pouca energia para o transporte ativo em todo o gradiente (Bray, 2007).

A Divisão Chlorophyta é tipicamente dominante nesses ambientes, abrangendo registros de várias espécies, como *Klebsormidium*, *Mougeotia* sp., *Zygnema* sp. e *Ulothrix* sp. Mas também é possível encontrar outros gêneros e espécies, como por exemplo, *Euglena mutabilis* Schmidt (Bacillariophyta), *Pinnularia acoricola* Hust. (Bacillariophyta) e *Eunotia exigua* (Breb. ex Kutz.) Rab. (Bacillariophyta) (Bray, 2007).

A utilização do perifíton como indicador de qualidade da água iniciou no Brasil nas últimas décadas do século passado. Mesmo com a abordagem de dados empíricos e qualitativos, essas pesquisas foram aplicadas a bacias hidrográficas, reservatórios e fontes de abastecimento (Rocha, 1992; Stevenson *et al.* 2003; Rodrigues *et al.*, 2003; Schneck, 2007). A utilização da comunidade algas perifíticas em estudos ambientais vem crescendo consideravelmente, por várias razões. Seu modo sésil e seu curto ciclo de vida fazem com que a comunidade responda rapidamente às alterações abióticas ocorridas na água, tornando-a ideal no monitoramento da qualidade da água. Os organismos interagem com a água e o sedimento, proporcionando informações sobre a qualidade da coluna de água assim como a do substrato ao qual está associado (Rodrigues *et al.*, 2003).

A identificação de algas existentes em recursos hídricos acidificados pela mineração tem sido alvo de estudos em várias regiões do mundo, porém pouco foi realizado no Brasil. (Miranda &

Schwarzbold, 2000; Verb & Vis, 2001; Valente, 2007; Bray, 2007; Kihlman & Kauppila, 2010). Assim, o objetivo geral do presente trabalho foi estudar as comunidades de algas perifíticas encontradas em ecossistemas impactados pela drenagem ácida de minas na região carbonífera de Santa Catarina.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em seis ambientes aquáticos na região Carbonífera de Santa Catarina, localizados nas seguintes bacias hidrográficas: bacia do Rio Tubarão – ponto de amostragem Mina Antiga do Barro Branco; bacia do Rio Araranguá – pontos de amostragem Córrego Santa Libera, Colonial, Afluente do Rio Sangão e Rio Morozini e bacia do Rio Urussanga – ponto de amostragem Rio Ronco D'água. Compreendidas na área delimitada pelas coordenadas 28°11' a 29°03' de latitude sul e 49°10' a 49°37' de longitude oeste com comprimento conhecido de 95 km e uma largura média de 20 km, abrangendo os municípios de Orleans, Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Treviso, Cocal do Sul, Içara, Morro da Fumaça, Criciúma e Forquilha. O clima da área de estudo é o subtropical úmido com verão quente (Cfa), pela classificação de Köppen. A precipitação total média é 1600 mm. A temperatura média anual é 19°C, sendo que as médias mensais variam de 15°C no inverno a 24°C no verão, com possível ocorrência de geada (EPAGRI, 2009).

Foram realizadas coletas na camada superficial dos seis pontos de amostragens nos períodos de julho/09, outubro/09, dezembro/09 e abril de 2010. Para a caracterização dos ambientes foram medidas e analisadas as seguintes variáveis: vazão, pH, acidez, sulfato, condutividade elétrica, cor, turbidez, potencial redox e os metais Fe, Al, Mn e Zn. Para tanto, foi coletado 1L da água e o perifiton encontrado numa área de 100 cm², sendo o material recolhido e acondicionado em garrafas de polietileno de alta densidade (HDPE) previamente ambientadas e preservadas com Lugol para posterior identificação das algas existente.

A identificação das algas foi feita ao microscópio óptico com aumento de 1000X, através de fotomicrografias e de consulta a obras taxonômicas básicas, chaves de identificação e descrição (Bold & Wynne, 1985; Bicudo & Menezes, 2006; e periódicos especializados). A quantificação das algas foi efetuada em câmara Sedgewick-Rafter sob microscópio óptico, estimou-se o número de células por mililitro a partir da contagem de 5 campos.

Com o objetivo de evidenciar as variáveis ambientais que melhor explicam a distribuição das espécies foi aplicada uma Análise de Correspondência Canônica (ACC) (Ter Braak, 1986). A Análise foi realizada através do aplicativo PCord versão 4.10 para Windows (McCune & Mefford, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I são apresentados os resultados relativos às médias das variáveis físicas, físico-químicas e químicas nos seis locais amostrados com presença de perifiton. É possível observar que as algas foram encontradas em ambientes aquáticos com diferentes taxas de vazão e de concentrações de metal e sulfato. No entanto, o pH estava em estreita faixa, variando de 2,9 para 4,1.

Tabela I - Características físico-químicas das águas ácidas nos pontos de identificação das espécies de algas na região carbonífera de Santa Catarina.

Variáveis	Ronco D'Água	Santa Libera	M. Barro Branco	Colonial	Afl. Rio Sangão(PP)	Rio Morozini
Vazão (L/s)	420	181	5,6	23	386	0,45
Ph	4,1	3,3	3,5	2,9	3,7	3,2
Potencial Redox (mV)	175	246	210	235	225	222
Cor (Hazen)	14	98	191	1227	234	156
Turbidez (NTU)	1,4	31,6	31,6	88,8	36,0	3,3
Precipitação média mensal	111	101	115	101	101	101
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	381	1720	418	1791	814	1148
Acidez (mg de CaCO_3/L)	64,6	2007,9	230,4	1767,7	396,7	838,4
Sulfato (mg/L)	587	3609	639	1703	811	1435
Fe (mg/L)	5,3	104,1	9,3	137,7	6,2	5,0
Al (mg/L)	12,3	66,8	11,2	94,9	14,3	25,6
Mn (mg/L)	0,74	3,85	0,35	2,34	1,63	4,87
Zn (mg/L)	0,44	4,67	0,53	2,64	1,90	1,15
Presença de algas*	Pouca	Pouca	Abundante	Abundante	Moderado	Moderado

*Quantidade de algas encontradas: Pouca= 1-100, Moderado= 101-200 e abundante= acima de 201.

O quadro I apresenta as comunidades de algas acidofílicas encontradas nos seis locais do estudo. A comunidade perifítica foi representada por cinco táxons, distribuídos em 3 classes: Chlorophyceae (*Microspora* e *Mougeotia*), Bacillariophyceae (*Eunotia* e *Frustulia*) e Euglenophyceae (*Euglena*).

Quadro I. Ocorrência de algas na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil.

Local	Bacia	Divisão	Classe	Gênero
Ronco D'Água	Rio Urussanga	Chlorophyta	Chlorophyceae	<i>Microspora</i>
Santa Libera	Rio Araranguá	Chlorophyta Euglenophyta	Chlorophyceae Euglenophyceae	<i>Microspora</i> <i>Euglena</i>
Mina Barro Branco	Rio Tubarão	Chlorophyta Heterokontophyta	Chlorophyceae Bacillariophyceae	<i>Microspora</i> <i>Eunotia</i>
Colonial	Rio Araranguá	Chlorophyta Chlorophyta Heterokontophyta Heterokontophyta Euglenophyta	Chlorophyceae Chlorophyceae Bacillariophyceae Bacillariophyceae Euglenophyceae	<i>Microspora</i> <i>Mougeotia</i> <i>Frustulia</i> <i>Eunotia</i> <i>Euglena</i>
Afl. Rio Sangão	Rio Araranguá	Chlorophyta Heterokontophyta	Chlorophyceae Bacillariophyceae	<i>Microspora</i> <i>Eunotia</i>
Rio Morozini	Rio Araranguá	Chlorophyta Chlorophyta Heterokontophyta Heterokontophyta	Chlorophyceae Chlorophyceae Bacillariophyceae Bacillariophyceae	<i>Microspora</i> <i>Mougeotia</i> <i>Frustulia</i> <i>Eunotia</i>

A Figura 1 mostra perifíton em dois pontos de amostragem. A Figura 2 apresenta microfotografias das algas identificadas nos locais de estudo. Pode-se observar o predomínio, em termos de biomassa, de uma alga verde filamentosa *Microspora*. Essa mesma alga predominava nos pontos de amostragem nas demais bacias hidrográficas estudadas.

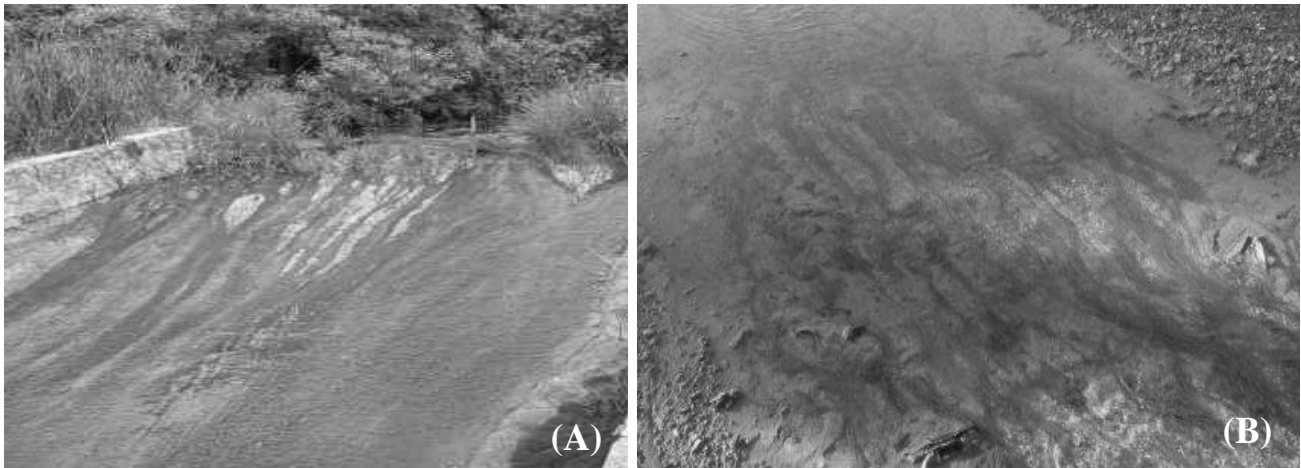


Figura 1. Algas em águas ácidas em córregos da região carbonífera de Santa Catarina.

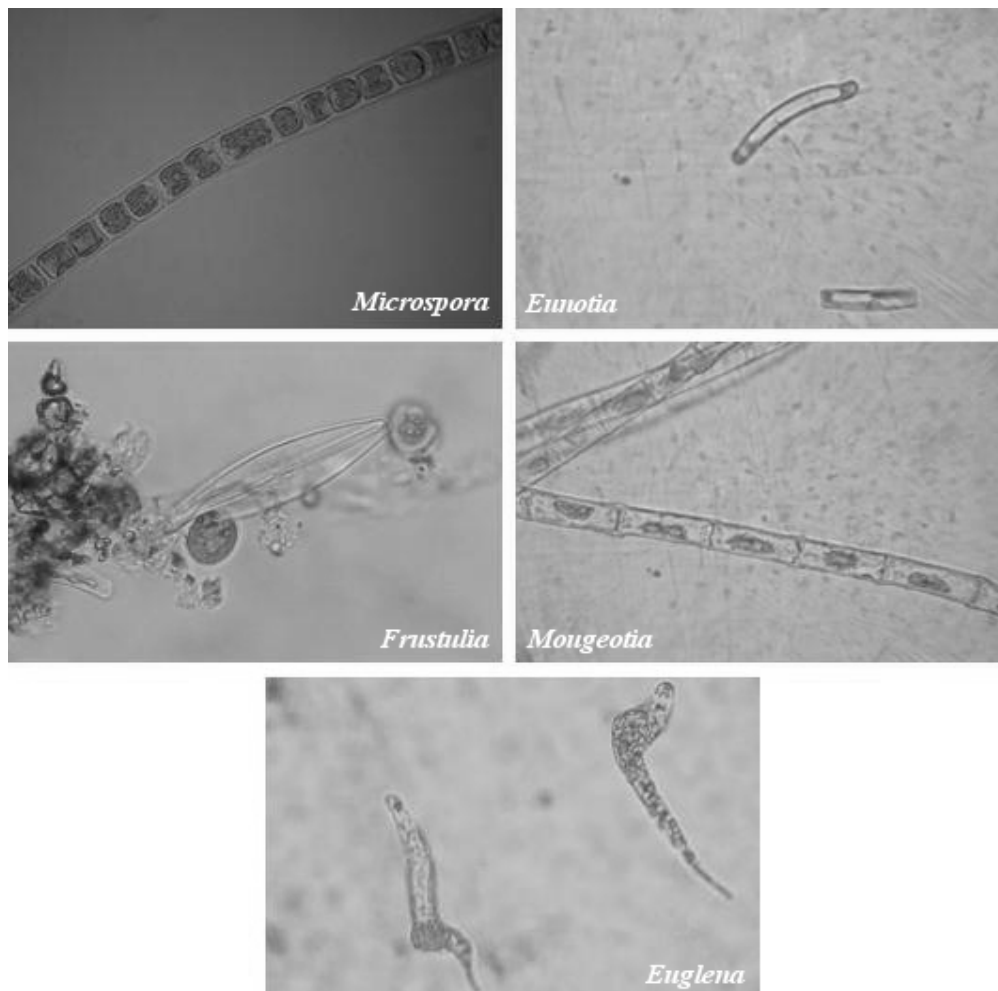


Figura 2. Microfotografias das Algas identificadas na região carbonífera de Santa Catarina.
Escala: aumento de 1000x .

A ACC representada na Figura 3 apresenta dois eixos principais. O eixo 1 explica 49,9% da análise. O gênero *Microspora* teve maior relação com os locais amostrados Barro Branco nas amostragens de julho e outubro, Sangão em julho e outubro e Ronco D'água em julho. O pH foi a variável relacionada a esses locais, tendo uma variação de 3,3 a 4,1. Já os gêneros *Frustulia* e *Eunotia* apresentaram relação com o local amostrado Morozini, onde os teores de manganês são mais elevados. O eixo 2 explica 31,1% da análise, mostrando a relação do gênero *Euglena* com Colonial, local com elevadas concentrações de sulfato e ferro.

Em relação à produtividade do ecossistema, expressa em biomassa acumulada, o período mais significativo foi no inverno com 14 g/m². A quantidade de biomassa se reduz na primavera, em alguns lugares e uma ausência completa no verão. Essa ausência no verão pode ter sido ocasionada pelo aumento da vazão apresentada no período, fazendo assim, com que as algas tenham sido levadas pela enchurrada. Já que, os tapetes de algas foram encontrados em sedimentos não consolidados (como argila e areia).

Estes organismos podem influenciar nas características da água, com isso, interferindo na mobilidade das espécies químicas dissolvidas no meio aquático, como metais e sulfatos, sendo consideradas as espécies pioneiras na regeneração natural dos cursos d'água afetados pela DAM (Valente e Gomes, 2007)

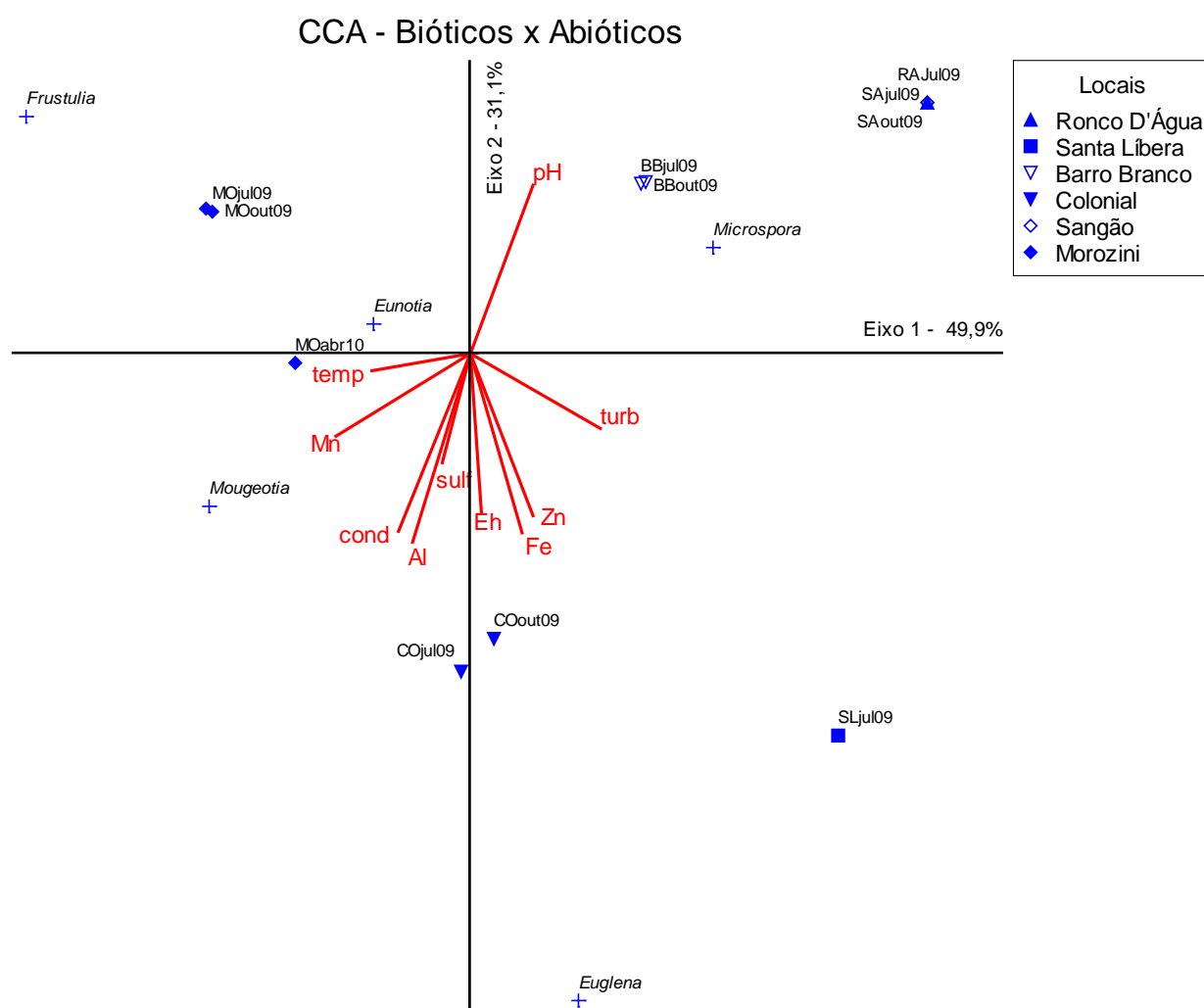


Figura 3. Diagrama da Análise de Correspondência Canônicas para gêneros e locais amostrados.

4. CONCLUSÕES

A região carbonífera de Criciúma – SC apresenta nos seus ecossistemas impactados pela DAM. O ecossistema é simples e com baixa diversidade. Os gêneros identificados foram *Microspora*, *Mougeotia*, *Eunotia*, *Frustulia* e *Euglena*, ocorrendo a dominância de táxons pertencentes à divisão Chlorophyta. O gênero de maior distribuição foi a *Microspora*, presente nos 6 locais amostrados, sendo também o mais bem sucedido nos locais que apresentaram a faixa de pH de 3,3 a 4,1. *Eunotia* foi o segundo gênero mais representativo, presente em 4 locais de amostragem, mostrando relação com maior teor de manganês. *Euglena* foi encontrada nos ambientes mais degradados, associada às elevadas concentrações de sulfato e ferro. As algas desempenham um papel importante na atenuação natural de águas afetadas pela DAM.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes, CNPq e a Rede Carvão, pelo apoio financeiro, ao Centro Tecnológico de Carvão Limpo/SATC e a Carbonífera Criciúma S.A. pelo apoio prático para o desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Bicudo, C.E. de M. & Menezes, M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil In: Chave para identificação e descrições. Ed. Rima, São Carlos, p.1-489, 2006.

Bold, H.C. & Wynne M.J. Introduction to the algae. In: Structure and reproduction. New Jersey: Prentice Hall, p. 1-720, 1985.

Bray J.P. The ecology of algal assemblages across a gradient of acid mine drainage stress on the West Coast, South Island, New Zealand. Dissertação de Mestrado. University of Canterbury, 106p., 2007.

Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente. Eds. Paulo Sergio Moreira Soares, Maria Dionísia Costa dos Santos, Mario Valente Possa. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

Estações Meteorológicas do Município de Criciúma (EPAGRI). Monitoramento de dados meteorológicos para prevenção de enchentes e deslizamentos. Governo do Município de Criciúma, Criciúma, 2009. Disponível em: < <http://www.ciram.com.br/siscrici/index.jsp?url=pagina/jsp/projeto.jsp> >. Acesso em 03 fev. 2010.

Kihlman, S. & Kauppila, T. Tracking the aquatic impacts of a historical metal mine using caustrine protists and diatom algae. *Mine Water and the Environment* 29, 116–134, 2010.

Kontopoulos, A. Acid mine drainage control. In: Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánchez, M.A. (eds.). *Effluent treatment in the mining industry*. University of Concepción, 1998.

McCune, B. & Mefford, M. J. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.10. Oregon, MjM Software Deseign, 1999. 237 p.

Miranda, A.B.; Schwarzbald, A. Estrutura da comunidade periférica sobre *Leersia hexandra* em ambientes lóticos de região de mineração de carvão. In: *Carvão & Meio Ambiente*. Centro de Ecologia - UFRGS. (Org.). Porto Alegre, UFRGS, p. 792-802, 2000.

Niyogi, D. K., Lewis Jr., W. M. e McKnight, D. M. Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in mountain streams. *Ecosystems*, v.5, p.554–567, 2002.

Rocha, A.A. Algae as biological indicators of water pollution. In: *Algae and Environment: A General Approach*. Cordeiro-Marino, M.; Azevedo, M.T P.; Sant'anna, C.L; Tomita, N.Y.; e Plastino, E. M (eds.). São Paulo, Sociedade Brasileira de Ficologia, CETEBS, p. 34-52, 1992.

Rodrigues, L., Bicudo, D.C. e Moschini-Carlos, V. O papel do perifíton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. In: *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. S.M. Thomaz and L.M. Bini (eds.), Maringá, Eduem, p. 211-229, 2003.

Stevenson, R.J. & Smol, J.P. Use of algae in environmental assessments. In: *Freshwater Algae in North America: Classification and Ecology*. J.D. Wehr and R.G. Sheath (eds). San Diego, p. 775-804, 2003.

Ter Braak, C.J.F. Canonical Correspondence Analysis: a nem eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67, p. 1167-1179, 1986

Valente, T.M.F. & Gomes, C.L. The role of two acidophilic as ecological indicators of acid mine drainage sites. *Journal of Iberian Geology*, v.33, n.2, p.283-294, 2007.