

# ALGAS EM ÁGUAS IMPACTADAS POR DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS

Ana P.P. Freitas<sup>1</sup>, Ivo A.H. Schneider<sup>1</sup> & Albano Schwarzbald<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade 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

<sup>2</sup> Universidade 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

A Drenagem ácida de minas (DAM), do ponto de vista ecológico, influencia os ambientes aquáticos provocando condições de stress para a maioria dos organismos. O baixo valor de pH (geralmente < 3,0), altas quantidades de sulfatos e íons metálicos dissolvidos diminuem a diversidade biológica. Esses locais podem ser caracterizados como ecossistemas simples, dominado por organismos acidofílicos e ácido tolerantes. Clorofíceas (Classe *Chlorophyta*) são tipicamente dominantes em ambientes impactados pela DAM. Assim, 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, Brasil. A metodologia do trabalho consistiu inicialmente em uma detalhada revisão de literatura sobre o tema. Coletas de amostras de DAM e de algas existentes neste ambiente aquático foram realizadas em locais estratégicos no Estado de Santa Catarina. Verificou-se que os ambientes aquáticos atingidos pela DAM abrigam pouca diversidade de espécies. Nos locais amostrados, predomina a alga verde filamentososa *Microspora*.

**PALAVRAS-CHAVE:** drenagem ácida de minas; algas; diversidade.

## ABSTRACT

The acid mine-drainage (AMD), from the ecological point of view, affects the aquatic environments causing stress to most organisms. The low pH values (usually <3.0), high concentration of sulfates and dissolved metal ions reduce the biological diversity. These systems can be characterized as simple ecosystems, dominated by acidophilous and acid tolerant organisms. Chlorophyta are typically dominant in these environments. The objective of this work was the identification of algae communities in water stream impacted by AMD in the coalfield of Santa Catarina State, Brazil. The methodology of the work was consisted of a detailed review about the subject. AMD samples and algae were collected in strategic locations in the Santa Catarina State. The results showed that the aquatic environment impacted by AMD is inhabited by few algae groups. The dominant genera was filamentous green algae *Microspora*.

**KEY WORDS:** Acid mine drainage; algae; diversity

## 1. INTRODUÇÃO

Os rejeitos do beneficiamento de carvão, ricos em pirita ( $\text{FeS}_2$ ), oxidam-se em presença do ar, da água e da ação de bactérias, originando a drenagem ácida de minas (DAM). Esse fenômeno pode ocorrer tanto em minas abandonadas como em operação. As águas afetadas pela DAM apresentam-se ácidas e com alta concentração de metais e sulfatos (Kontopoulos, 1998).

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 ao ambiente modificado. Assim, os táxons mais tolerantes, como por exemplo, o *Ulothrix* sp., tornam-se dominantes (Bray, 2007).

Apesar das condições físico-químicas extremas que a DAM impõe, grandes números de algas 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 identificação de algas existentes em recursos hídricos acidificados pela mineração tem sido alvo de estudos em várias regiões do mundo, porém pouco tem sido realizado no Brasil. Assim, o objetivo do presente trabalho foi a identificação das comunidades de algas encontradas em ecossistemas impactados pela DAM na região carbonífera em Criciúma-SC. Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as algas em ambientes impactados pela DAM em várias partes do mundo e um trabalho experimental no Brasil, onde apresentam-se as espécies identificadas e a qualidade da água nos locais de crescimento.

## 2. ALGAS EM AMBIENTES ÁCIDOS NO MUNDO

Existem várias pesquisas sobre a ocorrência e ecologia de comunidades de algas em ambientes impactados pela DAM, que incluem a Península Ibérica, Costa Oeste da Nova Zelândia e Estados Unidos.

Valente (2004) realizou um estudo em Valdearcas, Portugal, em uma DAM que apresentava uma estreita faixa de pH, entre 2.0 a 3.8. Em termos gerais, o efluente de Valdearcas era ácido, sulfatado e com concentrações elevadas de ferro (em especial Fe III), cálcio e alumínio. O ecossistema era simples, com pouca biodiversidade. Apresentava cinco classes e seis gêneros ou espécies, apresentados no Quadro I. A predominância era da divisão Chlorophyta.

Quadro I – Ocorrência de algas em Valdearcas, Portugal

Divisão	Classe	Gênero/Espécie
Clorophyta	Chlorophyceae	<i>Characium</i> sp. <i>Mougeotia</i> sp
	Ulvophyceae	<i>Klebsormidium</i> sp
Xanthophyta	Xanthophyceae	<i>Characiopsis</i> sp.
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	<i>Eunotia</i> sp.
Euglenophyta	Euglenophyceae	<i>Euglena mutabilis</i>

Também na Península Ibérica, López-Archilla *et al.* (2000) avaliaram a situação no ambiente extremo no Rio Tinto, de pH muito baixo (2,2) e altas concentrações de metais pesados (Fe 2,3 g/L, Zn 0,22 g/L, Cu 0,11 g/L). Esse ecossistema também apresenta uma baixa diversidade, como apresentado no Quadro II, distribuída em cinco classes e seis gêneros ou espécies, com dominância da divisão Chlorophyta.

**Quadro II** - Ocorrência de Algas no Rio Tinto, Espanha

Divisão	Classe	Gênero/Espécie
Clorophyta	Chlorophyceae	<i>C. acidophila</i> <i>Chlorella</i> sp <i>Klebsormidium</i> sp
	Conjugatophyceae	<i>Zygnema</i> sp
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	
Rhodophyta	Bangiophyceae	<i>G. sulphurarin</i>
Euglenophyta	Euglenophyceae	<i>Euglena mutabilis</i>

Um levantamento da diversidade das comunidades de algas da Costa Oeste da Nova Zelândia foi realizado por Bray (2007), cuja DAM apresentava valores de pH entre 2,7 a 7,6 e condutividade entre 17,9 -1220  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Pela variação de pH ser maior, a deposição de hidróxido de ferro estava presente em muitos dos locais observados. Possivelmente pela mesma razão (maior variação da faixa de pH), esse ecossistema apresentava uma maior diversidade de algas, distribuído em quatro classes e dezoito gêneros ou espécies, como mostrado no Quadro III. Também se percebeu a dominância da divisão Chlorophyta.

**Quadro III** - Ocorrência de algas na Costa Oeste da Nova Zelândia

Divisão	Classe	Gênero/Espécie
Cyanophyta	Cyanophyceae	<i>Chamaesiphon cf. incrustans</i> Grunow <i>Gloeocapsa</i> sp. <i>Heteroleibleinia purpurascens</i> <i>Pseudanabaena</i> sp.
Clorophyta	Chlorophyceae	<i>Characium</i> sp. <i>Klebsormidium</i> <i>Microspora</i> <i>Microthamnion kuetzingianum</i> Nägeli <i>Mougeotia</i> sp. <i>Oedogonium</i> sp. <i>Zygnema cf. cylindrospermum</i>
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	<i>Cymbella kappi</i> Cholnoky <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>crassinerva</i> (Brebisson) Ross. <i>Gomphonema parvulum</i> (Kutz) Grun. <i>Navicula cineta</i> (Ehrenberg) Ralfs <i>Navicula capitoradiata</i> Germain
Rhodophyta	Bangiophyceae	<i>Batrachospermum atrum</i> (Hudson) Harvey <i>Batrachospermum 'chantransia'</i> stage
Euglenophyta	Euglenophyceae	<i>Euglena mutabilis</i> Schmidt

No entanto o levantamento feito em Hocking River, Ohio, por Verb e Vis (2001), os parâmetros físico-químicos variaram amplamente. O pH foi de 2,6 a 8,2, devido aos locais que não foram impactados pela DAM. A condutividade também variou muito, de 152 a 409  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . O Fe e Al foram encontrados em concentrações mais elevadas nos locais que apresentaram baixos níveis de pH. Já em relação à diversidade, a espécies distribuíram se em cinco classes e vinte e dois gêneros ou espécies. Mesmo assim, o predomínio foi de táxons pertencentes à Chlorophyta (Quadro IV).

**Quadro IV** – Ocorrência de algas em Hocking River, Ohio, EUA.

Divisão	Classe	Gênero/Espécie
Cyanophyta	Cyanophyceae	<i>Anabaena</i> sp. <i>Oscillatoria</i> <i>Phormidium</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	<i>C. elegans</i> (Roth) C. Ag. <i>C. braunii</i> Gmelin <i>Chlamydomonas</i> sp. <i>C. glomerata</i> (L.) Kütz <i>Draparnaldia</i> <i>Klebsormidium rivulare</i> <i>Microspora</i> <i>Mougeotia</i> sp. <i>Oedogonium</i> sp. <i>O. gracilius</i> (Wittr.) Tiffany <i>Spirogyra</i> spp. <i>Stigeoclonium</i> <i>stagnatile</i> <i>S. subsecundum</i> Kütz. <i>T. gelatinosa</i> (Vauch.) Desvaux <i>Ulothrix</i>
Xanthophyta	Vaucheriaceae	<i>Vaucheria</i>
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	<i>A. granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen <i>M. varians</i> C. Ag.
Rhodophyta	Bangiophyceae	<i>Batrachospermum</i>

### 3. ALGAS EM AMBIENTES ÁCIDOS NO BRASIL

Embora no Brasil existam muitos trabalhos relacionados à DAM, não há trabalhos com ênfase na classificação taxonômica desses ecossistemas impactados. Portanto, além da revisão literária feita neste trabalho, um estudo foi realizado em sete córregos de Criciúma.

As amostras de algas foram recolhidas e acondicionadas em garrafas de polietileno de alta densidade (HDPE) previamente ambientadas e preservadas para identificação das algas existente. As amostras foram examinadas em microscópio óptico. Para identificação das algas foram utilizadas as chaves de identificação e descrição de Bold e Wynne (1985) e Bicudo e Menezes (2006). Concomitantemente, amostras de água foram coletadas para análise de parâmetros físico-químicos da água. As análises foram realizadas no Centro Tecnológico de Carvão Limpo/SATC e seguiram os procedimentos do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2005).

A Tabela I apresenta as características das águas ácidas de 7 locais na região carbonífera de Santa Catarina, onde foram localizados o crescimento de algas, incluindo córregos das bacias do Rio Tubarão, Rio Araranguá e Rio Urussanga no período de outubro de 2008 a maio de 2009. Os valores de pH variaram entre 2,7 a 3,8 e os de condutividade entre 377 e 1656  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . A concentração de metais também variou bastante, sendo a concentração mais elevada nos pontos onde o pH é mais baixo.

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

Bacia	Local	pH	Condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Sulfato ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Al ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Fe ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Mn ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Tubarão	Local A	3,2	785	320	11,4	1,4	1,2
Tubarão	Local B	3,5	706	104,5	5,6	1,4	1,3
Araranguá	Local C	3,4	731	126,4	2,0	5,1	1,7
Araranguá	Local D	2,7	1656	484,2	48,5	82,8	1,6
Araranguá	Local E	2,9	3390	2520	74,7	282,7	31,5
Urussanga	Local F	3,8	377	111	3,4	1,0	0,3
Urussanga	Local G	3,6	633	318,8	0,3	7,9	1,3

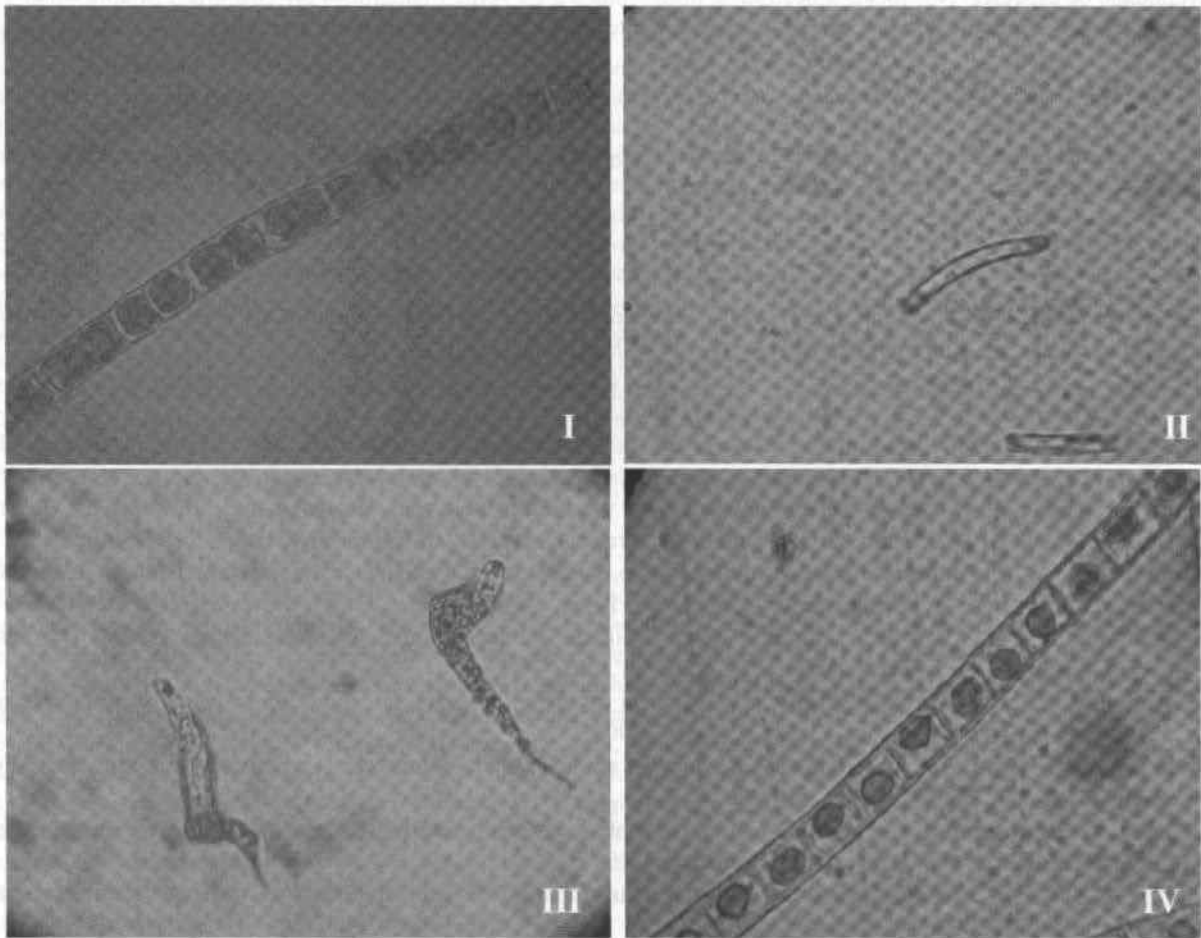
O Quadro V resume as algas acidofílicas da região carbonífera de Santa Catarina. Identificou-se no ecossistema três classes e 4 gêneros. Como nas demais regiões do mundo, o predomínio foi de táxons pertencentes à Chlo-

rophyta. O ecossistema pode ser considerado simples, com pouca diversidade de espécies, em conformidade com os estudos anteriormente realizados em faixas ácidas e estreitas de pH.

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

Divisão	Classe	Gênero	Locais
Clorophyta	Chlorophyceae	<i>Microspora</i> <i>Mougeotia</i>	A, B, C, D, E, F e G C, D e E
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	<i>Eunotia</i>	A, B e D
Euglenophyta	Euglenophyceae	<i>Euglena</i>	F e G

A Figura 1 apresenta fotografias ao microscópio das algas presentes em águas ácidas na região carbonífera de Santa Catarina. A Figura 2 mostra as algas nos pontos de amostragem nos córregos da bacia do Rio Tubarão. 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 identificadas na região carbonífera de Santa Catarina: (I) *Microspora*; (II) *Eunotia*; (III) *Euglena*; (IV) *Mougeotia*. Escala: aumento de 1000X.



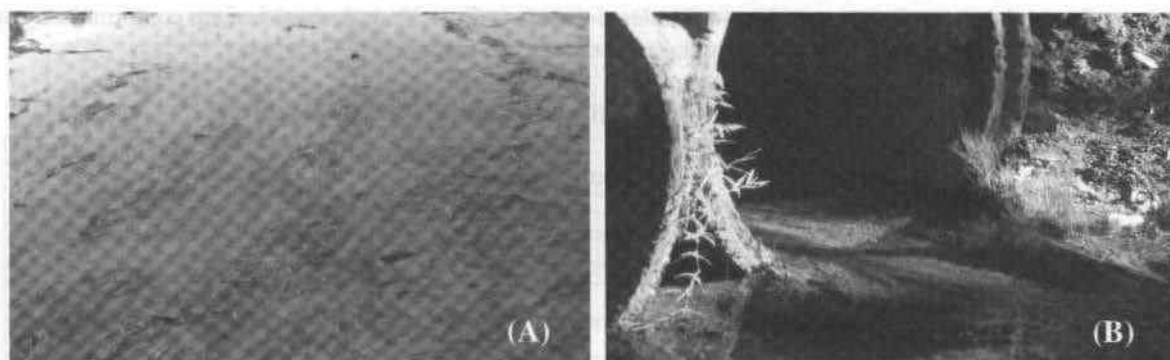


Figura 2. Algas em águas ácidas em córregos da bacia do Rio Tubarão.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estudos relatados neste trabalho demonstram que ambientes impactados pela DAM possuem baixa diversidade de algas e táxons típicos como as clorofíceas (Chlorophyta), evidenciado em sites impactados em todo mundo. De forma parecida, na região carbonífera de Santa Catarina, os ambientes aquáticos ácidos abrigam pouca diversidade de espécies. Nos locais amostrados, predomina a alga verde filamentososa *Microspora*. Por apresentar-se bem adaptada, em muitos locais apresenta-se abundante, com uma alta dominância no meio.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes e ao Centro Tecnológico de Carvão Limpo/SATC pelo apoio financeiro e apoio prático para o desenvolvimento do presente trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- American Public Health Association – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington D.C: APHA-AWWA-WEF, 2005, 1134p.
- 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.
- 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.
- López-Archilla, et al., Microbial community composition and ecology of an acidic aquatic environment: The Tinto River, Spain. *Microbial Ecology*, v.41, p.20–35, 2001.
- Niyogi et al. Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in mountain streams. *Ecosystems*, v.5, p.554–567, 2002.
- Valente, T.M.F. Modelos de caracterização de impacte ambiental para escombreliras reactivas. Tese de Doutorado. Universidade de Minho, 319 p., 2004.
- 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.
- Verb, R.G., Vis, M.L., Macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany*, v.71, p.93-107, 2001.