

DISTRIBUIÇÃO DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UM ECOSSISTEMA AMAZÔNICO IMPACTADO POR REJEITO DE BAUXITA - LAGO BATATA (PARÁ, BRASIL)

CALLISTO, M.F.P. & ESTEVES, F.A.

Resumo:

O lago Batata foi local de lançamento de 25.000 m³ diários de efluentes de lavagem de bauxita durante aproximadamente 10 anos, resultando em forte comprometimento das condições ecológicas em cerca de 30% da área total do lago. A deposição do rejeito sobre o sedimento natural alterou profundamente as condições ecológicas do compartimento sedimentar. O objetivo desta pesquisa foi mostrar a influência do rejeito de lavagem de bauxita e do ciclo hidrológico amazônico sobre a estrutura da comunidade bentônica do lago Batata; além de inferir sobre o papel do zoobentos como indicador das condições ecológicas no mesmo. Para tanto, foi utilizada a análise das funções discriminantes onde foram estudadas a densidade de organismos dos diversos grupos e algumas variáveis abióticas (temperatura, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, transparência da coluna d'água, material em suspensão, colorofila-a, feofitina-a, amônia, nitrogênio dissolvido e nitrogênio total na coluna d'água, P-total, N-total e matéria orgânica no sedimento). Os resultados mostraram a influência do rejeito de minério de bauxita sobre a comunidade bentônica, com um padrão diferenciado de distribuição dos organismos, nas três áreas estudadas: impactada, transição e natural. Pôde-se verificar ainda que a composição dos organismos bentônicos sofreu alteração nos quatro períodos do ciclo hidrológico amazônico (enchente, águas altas, vazante e águas baixas), evidenciando o papel da comunidade como indicadora das condições ecológicas no lago Batata.

Abstract:

"Distribution of the benthic macroinvertebrate community in an amazonian ecosystem impacted by bauxite tailings - Lago Batata (Pará, Brazil)"

Lago Batata was a disposal site for 25,000 m³/d effluents from the bauxite washing process for approximately 10 years; as result, ecological conditions over about 30% of the total area of the lake were significantly compromised. Deposition of the tailings over the natural sediment profoundly altered the ecological conditions in the sedimentary compartment. The objective of this research was to demonstrate the influence of the bauxite tailings and of the Amazonian hydrological cycle on the structure of the benthic community of Lake Batata; and in addition, to form conclusions as to the role of the zoobenthos as an indicator of ecological conditions in the lake. Discriminant function analysis was employed, where the densities of the different groups of organisms and several abiotic variables were measured: temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, water transparency, suspended matter, chlorophyll-a, pheophytin-a, ammonia, dissolved nitrogen and total nitrogen in the water column; and total P, total N and organic matter in the sediment. The results showed the influence off bauxite tailings on the benthic

community, with a different pattern of organism distribution in the three areas studied (impacted, transition and natural). Moreover it was shown that the composition of the benthic organisms underwent alteration in the four periods of the Amazonian hydrological cycle (filling phase, high water, drawdown and low water), furnishing evidence of the role of the community as an indicator of ecological conditions in Lake Batata.

Introdução

Estudos limnológicos acerca da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em regiões tropicais são raros, apesar de sua destacável importância na transformação da matéria e no fluxo de energia nos ecossistemas (NOLTE, 1988; 1989; TUDORANCEA *et al.*, 1989). Além disso, esta comunidade constitui uma variável biológica importante para se estudar e caracterizar as condições ecológicas de um ecossistema lacustre (JOHNSCHER-FORNASARO & ZAGATO, 1987). A capacidade de responderem rapidamente a perturbações ambientais de diferentes formas, que alterariam seus habitats; o amplo espectro de respostas a estresses ecológicos e seu hábito de vida predominantemente sedentário ou com restrita mobilidade, permitindo estudos baseados em análises espaciais dos efeitos e distúrbios de poluentes e rejeitos industriais conferem a este grupo características singulares, tornando imperativo o desenvolvimento de estudos que visem maior compreensão destes organismos (ROSENBERG & RESH, 1993).

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos foi estudada ao longo de um ano no lago Batata, um ecossistema de águas claras, pertencente à bacia hidrográfica do rio Trombetas. Durante 10 anos (1979-1989), este lago recebeu o lançamento diário do rejeito de lavagem de bauxita da ordem de 25.000 m³, composto por argilas de fina granulometria, o que resultou na degradação das condições ecológicas de cerca de 30% de sua área total (ESTEVES *et al.*, 1990). A sedimentação deste rejeito formou uma camada com cerca de 6 a 8 metros sobre o sedimento natural do lago Batata, comprometendo o habitat da fauna macrobentônica. Este rejeito é composto por 9% de sólidos que culminou em acúmulo de um milhão de toneladas de bauxita sobre o sedimento, cuja composição é principalmente de óxidos de alumínio e ferro (LAPA & CARDOSO, 1988).

O objetivo deste trabalho é identificar a influência do rejeito de bauxita e do ciclo hidrológico do rio Trombetas sobre a distribuição e estrutura da comunidade de macrobentônica do lago Batata, além de inferir sobre o papel do macrobentos como indicador das condições ecológicas deste lago.

Área de Estudos

O lago Batata situa-se entre as latitudes 1°25' e 1°35'S e longitudes 55°15' e 56°25'W, no município de Oriximiná (PA), localidade de Porto Trombetas. Classificado como de águas claras (SIOLI, 1956; PRANCE, 1980), está localizado à margem direita do rio Trombetas, um afluente da margem esquerda do rio Amazonas, cercado por exuberante floresta de igapó. Área total estimada em

28,4 Km², comprimento aproximado de 18 Km, com profundidade média variando de 10,0 a 0,4 m, respectivamente nos períodos de águas altas e baixas. JUNK *et al.*, (1989) descreve o pulso de inundação como o principal agente controlador da estrutura e da dinâmica das comunidades biológicas em ecossistemas aquáticos de planície de inundação. A periodicidade e intensidade do pulso de inundação são determinadas pelo ciclo hidrológico da região amazônica (ROLAND, 1991).

Na figura 1 estão localizadas: (1) área impactada pelo rejeito de lavagem de bauxita, com um perfil, identificado pelos pontos 1A, 1B, 1C, 1D e 1E; (2) área de transição; (3) áreas naturais, distantes da influência do rejeito, identificadas pelos pontos 3A, 3B e 3C.

Material e Métodos

As coletas foram realizadas em quatro diferentes períodos amostrais do ciclo hidrológico amazônico no ano de 1990: enchente (março), águas altas (junho), vazante (setembro) e águas baixas (dezembro), por meio de um coletor, conforme proposto por AMBÜHL & BÜHRER (1975). A utilização deste equipamento possibilita retirar perfis ("core") de 0,0251 m² de área sem a mistura das diferentes frações do sedimento. Nos períodos de vazante e águas baixas, algumas estações situadas na área do rejeito estiveram sem coluna d'água, impossibilitando as coletas; além disso, apenas na vazante foram coletadas amostras em três pontos da área natural.

Para efeito desta pesquisa foi efetuada a fração superficial de 0-10cm, considerada por diversos autores (CECCHERELLI & FABBRI, 1978; DOWNING, 1979; HAWKES, 1975; 1978; FURSE *et al.*, 1984), como a mais representativa nos estudos desta comunidade. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e fixadas com 20ml de formol tamponado e neutralizado. No laboratório foram lavadas sobre duas peneiras com aberturas de malha de 1,00 e 0,50mm, triadas com o auxílio de microscópio estereoscópio Zeiss, e os exemplares preservados em álcool a 70%.

Na coluna d'água a temperatura foi determinada com termistor eletrônico FAC400, o pH e condutividade com aparelhos portáteis DIGIMED E MICRONAL, respectivamente. A concentração de oxigênio dissolvido foi obtida pelo método de Winkler, enquanto a concentração de clorofila-a, feotina-a, material em suspensão e silicatos, segundo GOLTERMAN *et al.*, (1978). As formas nitrogenadas (N-dissolvido, amônia e N-total) foram determinadas segundo MACKERETH *et al.*, (1978). Nas amostras de sedimento, os teores de N-total foram determinados pelo método Kjeldahl e de P-total segundo AGENIAN & CHAU (1976). Os resultados de matéria orgânica foram obtidos através da incineração das amostras em forno mufla a 550°C e calculados pela diferença de peso, antes e após incineração.

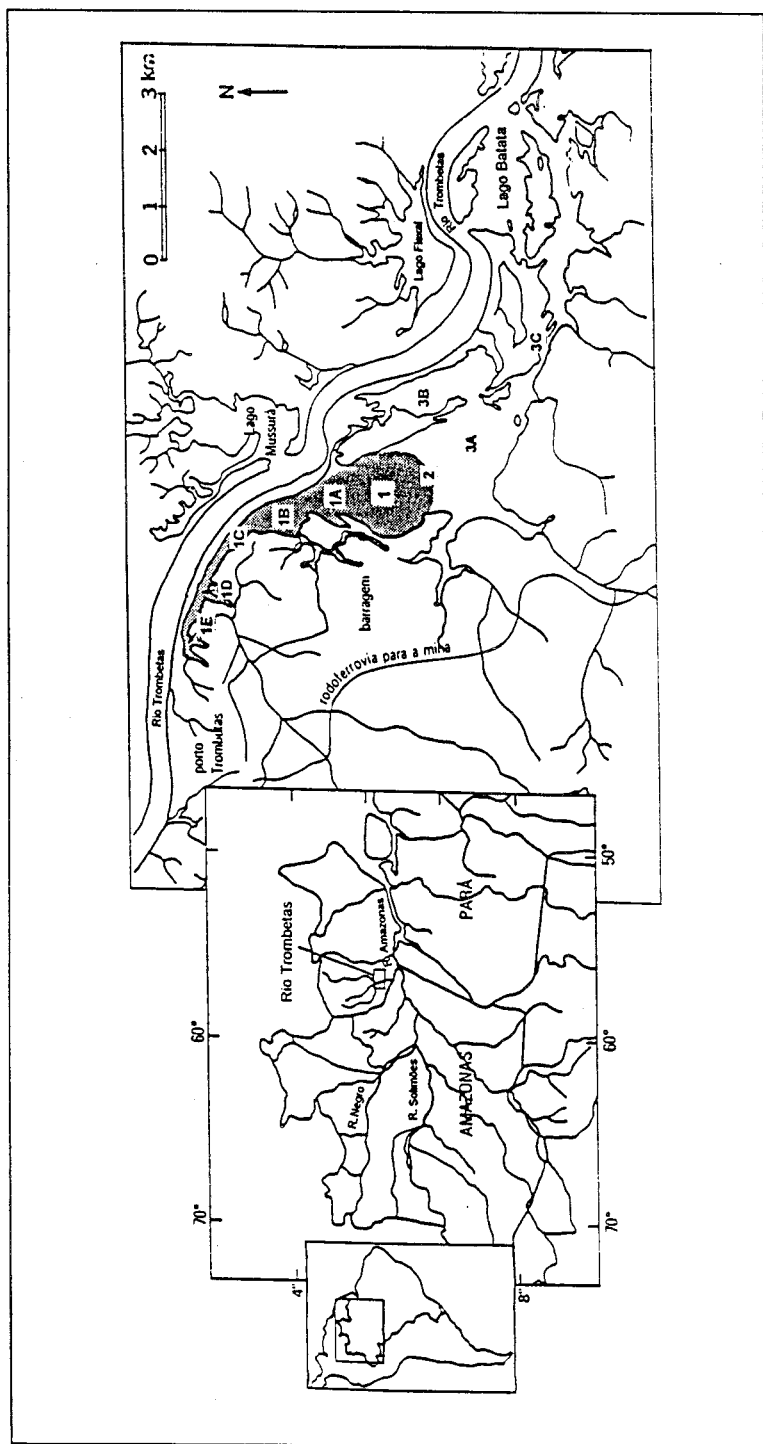


Figura 1: Mapa do Lago Batata com as estações amostrais: (1) área impactada por rejeito de bauxita com um perfil com os pontos 1A, 1B, 1C, 1D e 1E; (2) áreas naturais sem a influência do rejeito, identificadas pelos pontos 2A, 2B e 2C; (3) áreas naturais sem a influência do rejeito, identificadas pelos pontos 3A, 3B e 3C.

Com o objetivo de identificar a relação entre as diversas variáveis relacionadas à distribuição de organismos macrobentônicos, foi calculada a correlação de Pearson entre as variáveis abióticas estudadas na camada inferior da coluna d'água, aqueles do sedimento, e as densidades dos grupos de organismos amostrados.

Com o intuito de avaliar a importância do pulso de inundação, bem como a influência do rejeito na distribuição dos organismos e na variação dos parâmetros abióticos, foi aplicada a análise das funções discriminantes. A utilização das funções discriminantes permite construir um conjunto de combinações lineares entre as variáveis envolvidas (abióticas e bióticas) que maximizam a discriminação entre os grupos (situações estudadas).

Resultados

A figura 2 apresenta os resultados de densidades de organismos da comunidade macrobentônica, nos quatro períodos amostrais estudados. As famílias Chironomidae e Chaoboridae (Diptera-Insecta) apresentaram as maiores densidades de organismos. No período de enchente, na área impactada foram determinadas maiores densidades de organismos do que na área natural, principalmente de Chironomidae e Chaoboridae, o que se contrapõe aos mínimos valores nos pontos do perfil (1A, 1B, 1C, 1D e 1E). No período de águas altas foram observadas baixas densidades de organismos na área de transição. Padrão semelhante ocorreu na vazante, com baixas densidades na área impactada; enquanto Chironomidae e Chaoboridae dominaram nas áreas e transição natural. No período de águas baixas foi evidenciado um gradiente de colonização de animais bentônicos com reduzidas densidades nas áreas impactadas, média na área de transição e valores mais altos nas áreas naturais. Foram denominados outros grupos, as baixas densidades das seguintes famílias de Diptera: Culicidae, Curculionidae, Ceratopogonidae, e Acarina.

Na Tabela 1 são apresentados os graus de correlação entre variáveis abióticas e os diversos grupos de organismos, onde foram utilizados todos os dados disponíveis, sem distinção de área ou período de coleta, visando identificar quais as de maior influência na sua distribuição. Das variáveis físico-químicas estudadas na camada inferior da coluna d'água, a temperatura, os teores de oxigênio dissolvido, material em suspensão e transparência ao disco de Secchi apresentaram boas correlações com a densidade de Chironomidae e Chaoboridae. No sedimento os teores de N-total e matéria orgânica apresentaram boas correlações com Chironomidae, Ostracoda e Oligochaeta.

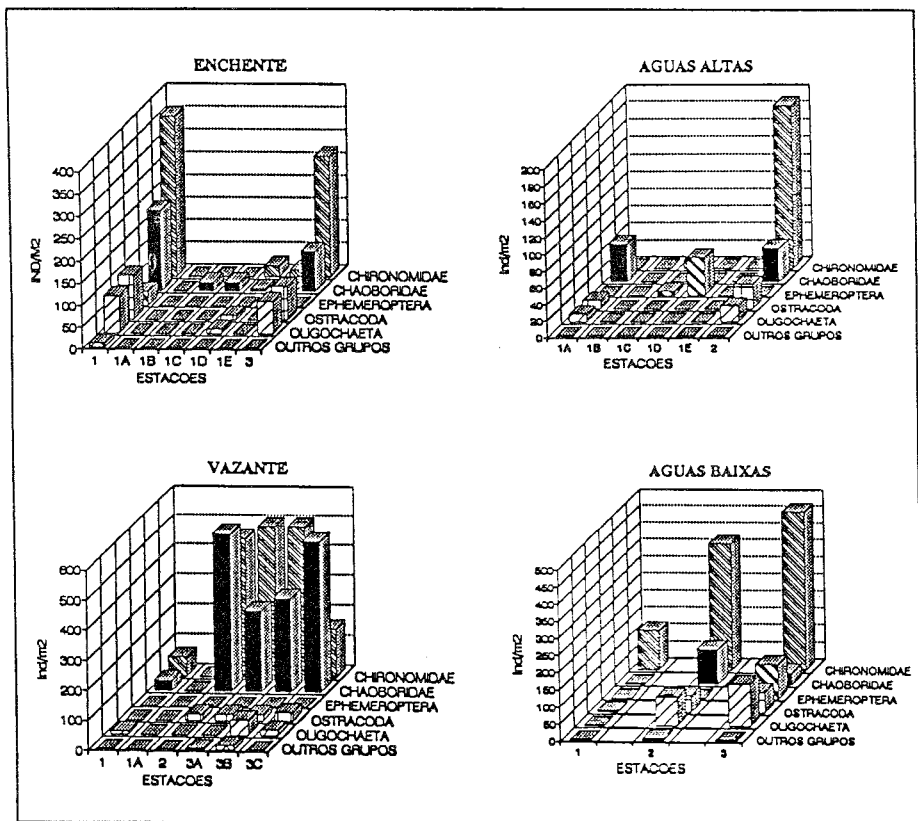


Figura 2: Densidades Relativas de Organismos (ind/m²) dos diversos grupos de organismos nos quatro períodos do ciclo hidrológico (enchente, águas altas, vazante e águas baixas) nas diversas estações amostrais.

A análise discriminante que mostrou a influência dos níveis fluviométricos no lago Batata (enchente, águas altas, vazante e águas baixas) sobre os grupos de organismos amostrados e as variáveis abióticas é apresentada na figura 3. Foram descritas duas funções discriminantes, a primeira explicando 72,07% da variância total, e a segunda, 23,95%, sendo ambas altamente significativas (1-wilk's $\lambda=0,0022$, χ^2 36 e $P < 0,001$; 2-wilk's $\lambda=0,0519$, χ^2 22=38,44 e $P < 0,01$).

A função 1 separou os períodos de enchente e águas altas, de vazante e águas baixas, e as variáveis que melhor explicaram este padrão foram: Oligochaeta, Ostracoda, Chaoboridae, oxigênio dissolvido, material em suspensão, Ephemeroptera e transparência ao disco de Secchi. Por outro lado, a função 2 discerniu águas altas e vazante, de enchente e águas baixas, através das variáveis:

Oligochaeta, transparência ao disco de Secchi, Ephemeroptera, Chironomidae, temperatura e oxigênio dissolvido.

Tabela 1: Coeficientes de correlações entre os grupos de organismos bentônicos e as variáveis abióticas analisadas. (1) sem correlação: 0,00-0,39; (2) boa correlação: 0,40-0,64 ($P < 0,05$); (3) ótima correlação: 0,65-1,00 ($P < 0,01$).

	Ephemeroptera	Chaoboridae	Chironomidae	Ostracoda	Oligochaeta	Outros Grupos
Temperatura	1	2	2	1	1	2
Oxigênio Dissolvido	2	2	3	1	2	1
Potencial Hidrogeniônico	1	1	1	2	1	1
Condutividade Elétrica	1	1	1	2	2	1
Transparência (Disco de Secchi)	1	2	2	3	2	1
Material em Suspensão	1	2	2	2	1	1
Clorofila- <i>a</i>	1	1	1	1	1	2
Feofitina- <i>a</i>	1	1	1	1	1	1
Amônia	1	1	1	1	1	1
N-dissolvido (água)	1	1	2	1	1	1
N-Total (água)	1	1	2	1	1	1
Silicatos	1	1	2	1	1	1
P-Total (sedimento)	1	1	1	1	1	1
N-Total (sedimento)	1	1	3	2	2	1
Matéria Orgânica	1	1	2	2	2	1

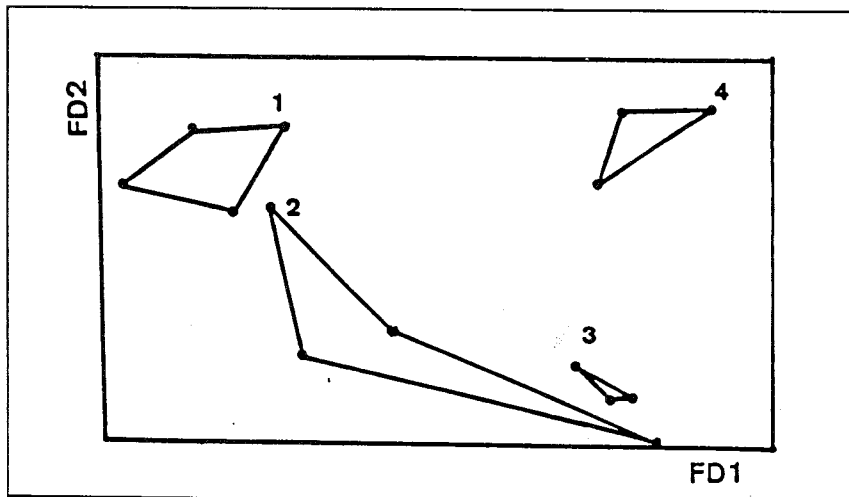


Figura 3: Funções discriminantes da análise "Influência da variação do nível d'água".

FD1- Função Discriminante 1; FD2- Função Discriminante 2;

1- enchente; 2- águas altas; 3- vazante e 4- águas baixas.

As três áreas amostradas no lago Batata foram estudadas de forma a inferir quanto à diferença nas variáveis abióticas estudadas e as densidades dos grupos de organismos (Fig. 4). Apenas a função 1 foi significativa, explicando 80,29% da variância total, com wilk's $\lambda=0,0173$, $\chi^2_{24}=54,73$ e $P < 0,001$, com principais variáveis explicativas sendo Oligochaeta, Ostracoda, Chaoboridae, outros grupos, Ephemeroptera e Chironomidae.

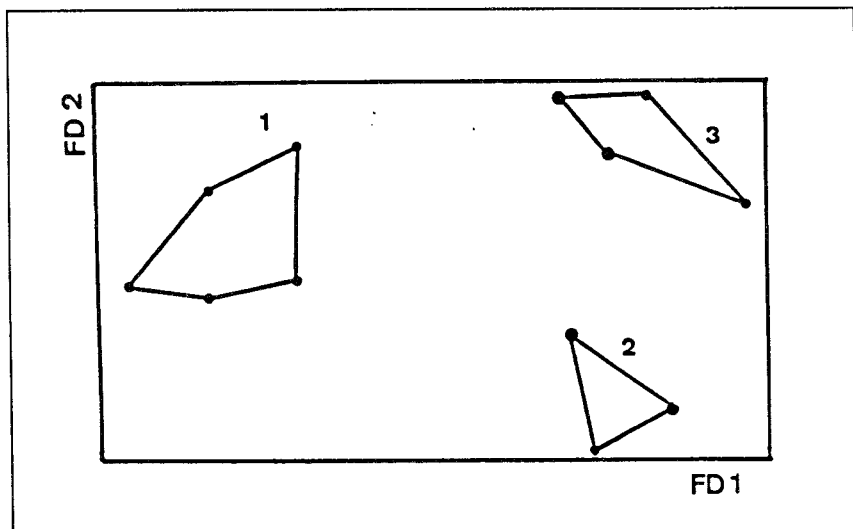


Figura 4: Funções discriminantes da análise "Diferenciação das estações amostrais".

FD1- Função Discriminante 1; FD2- Função Discriminante 2;

1- área impactada; 2- área de transição e 3- área natural.

A terceira análise de funções discriminantes realizada visou avaliar a influência do rejeito na distribuição dos organismos macrobentônicos. Nesta análise foi estudado o conjunto das áreas amostradas no lago quanto à influência do rejeito na distribuição espacial dos organismos bentônicos (Fig. 5), procurando verificar numericamente a diferenciação da composição da comunidade nas três áreas estudadas. Apenas a função 1 foi significativa, com wilk's $\lambda=0,0910$, $\chi^2_{12}=39,54$ e $P < 0,001$, e como principais variáveis explicativas, Oligochaeta, Chironomidae e Ostracoda.

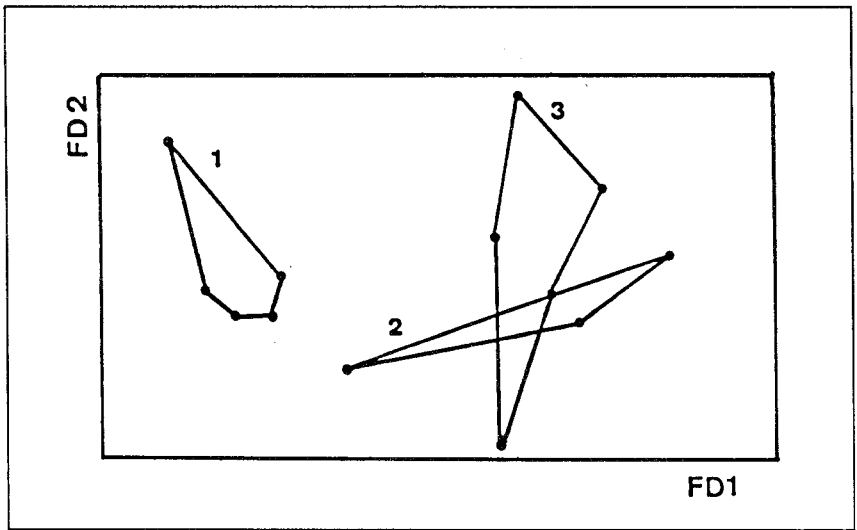


Figura 5: Funções discriminantes da análise "Influência do rejeito de bauxita na distribuição dos organismos".

FD1- Função Discriminante 1; FD2- Função Discriminante 2;

1- área impactada; 2- área de transição e 3- área natural.

Discussão

Os resultados deste estudo corroboraram as conclusões de outros autores (HAWKES, 1975; RATCLIFFE, 1977; BROOKER, 1982; ORMEROD & EDWARD, 1987; WARD, 1992) sobre as relações entre a fauna macrobentônica e as variáveis abióticas analisadas, tanto pelas correlações entre as variáveis limnológicas e as densidades de organismos, quanto pela análise das funções discriminantes. REISS (1977a; 1977b) e JUNK & FURCH (1984), em suas pesquisas em lagos amazônicos, já haviam demonstrado que a comunidade bentônica tem um padrão de distribuição fortemente influenciado por variáveis abióticas do sedimento (teores de N-total e matéria orgânica) ou da camada inferior da coluna d'água (temperatura e teores de oxigênio dissolvido).

No lago Batata, na área sob influência do rejeito de bauxita, verifica-se forte mudança da coloração da água, que se diferencia daquela característica de um ecossistema de águas claras, assumindo aspecto de cor avermelhada ou barrenta. Desta forma, argilas finas em suspensão, acarretam a diminuição da transparência ao disco de Secchi. CULP *et al.*, (1986), SALLENAVE & BARTON (1990) e BOZELLI (1992) discutem que o

aumento da turbidez da água é geralmente acompanhada da diminuição da produção secundária bentônica, tanto pela redução do suprimento alimentar da coluna d'água pelo decréscimo na fotossíntese fitoplancônica quanto pelo "recobrimento" ou eliminação dos organismos.

A redução da coluna d'água, que ocorre no período da vazante, somada à ação dos ventos locais provavelmente são responsáveis por um aumento nos teores de oxigênio dissolvido que juntamente com a entrada de material alóctone, rico em nutrientes, oriundo da mata de igapó, que sedimenta após o período de águas altas, poderiam ser os fatores estimuladores das maiores densidades totais de organismos bentônicos observadas na vazante. Neste período do ciclo hidrológico, os pontos do perfil na área impactada (1A, 1B, 1C e 1E) permanecem expostos, ou seja, sem coluna d'água. Desta forma, o local que outrora constituía-se em sedimento límnic, nos períodos de seca e vazante, transforma-se em habitat terrestre.

A dominância de Chaoboridae e Chironomidae em todos os pontos da área impactada do lago Batata, sugere estes organismos como os melhor adaptados às condições impostas pelo efluente de bauxita. Este fato pode ser atribuído tanto à sua ampla distribuição espacial, quanto pelo rápido ciclo de vida destes animais sugerindo uma plasticidade fenotípica que permitiria a estes organismos suportar as condições impostas pelo rejeito de bauxita (WETZEL, 1975; MARGALEF, 1983; FUKUHARA & SAKAMOTO, 1988; FREISING, 1989; TUDORANCEA, 1989; WARD, 1992)

Na análise da variação do nível d'água, verificou-se que os quatro períodos amostrados foram significativamente diferenciados (Fig. 3). Este fato evidencia que as flutuações do nível das águas foram responsáveis por distintas características em cada etapa amostral, onde alterações nas condições abióticas contribuíram para mudanças na estrutura e distribuição da comunidade da fauna macrobentônica.

Os resultados obtidos na análise da diferenciação das estações amostrais vão de encontro com ZIEMANN (1975) e TOWNSEND *et al.*, (1983) quanto às correlações entre os fatores físico-químicos e a distribuição da fauna macrobentônica. O fato de que as variáveis explicativas foram os diversos grupos de organismos macrobentônicos evidencia a influência do rejeito de bauxita na densidade e distribuição da comunidade.

No estudo da influência do rejeito na distribuição espacial dos organismos, evidenciou-se um gradiente ao longo das estações, onde a área impactada foi estatisticamente diferenciada da área natural (Fig. 5). Entre elas, constituindo-se uma espécie de ecótono, a área de transição com características intermediárias e um padrão de distribuição que sugere certa influência do rejeito de bauxita.

Desta forma, o conjunto de observações obtidas neste estudo evidencia que o efluente de lavagem de bauxita no lago Batata foi responsável por profundas alterações na distribuição dos organismos macrozoobentônicos construindo-se em caso singular de um impacto desta natureza em ecossistemas tropicais.

Bibliografia

- AGEMIAN, H., CHAU, A.S.Y. 1976. Evolution of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. Anal. Chem. 101:761-767.
- AMBÜL, H., BÜHRER, H. 1975. Zur technik der Entnahme ungestörter gossproben von seesedimenten: ein verbessertes Bohrlot. Scweiz. Z. Hydrol. 37:175-186.
- BOZELLI, R.L. 1992. Composition of the zooplankton community of Batata and Mussurá Lakes and of the Trombetas River, State of Pará, Brazil. Amazoniana, 12(2):239-261.
- BROOKER, M.P.. 1982. Conservation of wildlife in river corridos. Part 1. Methods of survey and classification. Welsh water authority. Brecon, 324p.
- CECCHERELLI, V.U., FABBRI, G.G. 1978. Sampling efficiency of three different types of cores on meiofauna of muddy bottom. Arch. Oceanogr. Limnol., 19:85-98.
- CULP, J.M., WRONA, F.J., DAVIES, R.W. 1986. Response os stream benthos and drift top five sediment deposition versus transport. Can. J. Zool., 64:1345-1351.
- ESTEVES, F.A., BOZELLI, R.L., ROLAND, F. 1990. Lago Batata: um laboratório de Limnologia Tropical. Ciênc. Hoje. 11(64):26-33.
- FREISING, R.G. 1989. Lake typology and indicator organisms in application to the profundal chironomid fauna of Starnberger See (Diptera, Chironomidae). Arch. Hydrobiol. 116(2):227-234.
- FUKUHARA, H., SAKAMOTO, M. 1988. Ecological significance of bioturbation of zoobenthos community in nitrogen release from bottom sediments in a shallow eutrophic lake. Arch. Hydrobiol. 113(3):425-445.
- FURSE, M.T., MOSS, D., WRIGHT, J.F., ARMITAGE, P.D. 1984. The influence of seasonal and taxonomic factors in the ordination and classification of running water sites in Great Britain and the prediction of their macroinvertebrate communities. Freshwater Biology. 14:257-280.

- GOLTERMAN, H.L., CLYNO, R.S., OHSNTAD, M.A.M. 1978. Methods for chemical analysis of freshwaters. Boston, Blackwell, 214p. (IBP Handbook, 8).
- HAWKES, H.A. 1975. River zonation and classification river ecology. WHITTON, B.A. eds., Oxford, Blackwell, p.312-374.
- _____. 1978. Invertebrates as indicators of river quality. (International Symposium on Biological Indicators of Water Quality. Univ. of Newcastle upon Tyne, England).
- JOHNSCHER-FORNASARO, G., ZAGATTO, P.A. 1987. The use of the benthic community as a water quality indicator in the Cubatão River basin. Wat. Sci. Tech. 19(11):107-112.
- JUNK, W.J., BAYLEY, P.B., SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Can. Spec. Publ. Fish Aquatic Sci. 106:110-127
- JUNK, W.J., FURCH, K. 1984. Physical and chemical properties of Amazonas waters and their relationship with the biota. In: PRANCE, G.T., LOVEJOY, T.E., eds. Key environments: Amazônia. New York, Pergamon Press.
- LAPA, P., CARDOSO, W. 1988. Tailings disposal at the Trombetas bauxite mine. In: BOXAL, L.G. Annual Meeting TMS Light Metals committee, 117. Proc.... Arizona, p. 65-76.
- MACKERETH, F.J.H., HERON, J., TAILLING, J.F. 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association, 119 p. (Scientifique Publication, 36).
- MARGALEF, R. 1983. Limnologia. Barcelona, Omega, 1010 p.
- NOLTE, U. 1988. Small water colonization in pulse stable (várzea) and constant (terra firme) biotopes in the Neotropics. Arch. hydrobiol. 113(4): 541-550.
- _____. 1989. Observations on Neotropical Rainpools (Bolivia) with Emphasis on Chironomidae (Diptera). Studies on Neotropical Fauna and Environment, 24(3):105-120.
- ORMEROD, S.J., EDWARDS, R.W. 1987. The ordination and classification of macroinvertebrate assemblages in the catchment of the River Wye in relation to environmental factors. Freshwater Biology, 17:533-546.

- PRANCE, G.T. 1980. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação. Acta Amazônica, 10(3):495-504.
- RATCLIFFE, D.A. (ed.) 1977. A nature conservation review. Cambridge University Press. 583p.
- REISS, F. 1977a. Qualitative and quantitative investigations on the macrobenthic fauna of central amazon lakes. II. Varzea lakes of the lower Rio Solimões. Amazoniana, 10:17-25.
- _____. 1977b. The benthic zoocenoses of central amazon varzea lakes and their adaptations to the annual water level fluctuations. Geo-Eco-Trop, 1(2):65-75.
- ROLAND, F.S. 1991. Influência do pulso de inundação e do efluente da lavagem de bauxita sobre a dinâmica de fósforo, nitrogênio e carbono em um lago amazônico (L. Batata - PA). Dissertação de Mestrado, UFSCar, 127 p.
- ROSENBERG, D.M., RESH, V.H. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, 270 p.
- SALLENAVE, R.M., BARTON, D.R. 1990. The distribution of benthic invertebrates along a natural turbidity gradient in Lake Temiskaming, Ontario, Quebec. Hydrobiologia, 206:225-234.
- SIOLI, H. 1956. Uber Natur and Mensch in Brasilianischen Amazonasgebiet. Erdkunde, 10:89-109.
- TOWNSEND, C.R., HILDREW, A.G., FRANCES, J. 1983. Community structure in some southern streams: the influence of physicochemical factors. Freshwater Biology, 13:521-544.
- TUDORANCEA, C., BAXTER, R.M., FERNANDO, C.H. 1989. A comparative limnological study of zoobenthic associations in lakes of the Ethiopian Rift Valley. Arch. hydrobiol./Suppl., 83(2):121-174.
- WARD, J.V. 1992. Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat. John Wiley & Sons, 437p.
- WETZEL, R.G. 1975. Limnology. Philadelphia, Sauders, 743p.
- WRIGHT, S.F., MOSS, D., ARMITAGE, P.D., FURSE, M.T. 1984. A preliminary classification of running water sites in Great Britain based on macroinvertebrate species and the prediction of community type using environmental data. Freshwater Biology, 14:221-256.

ZIEMANN, H. 1975. On the influence of hydrogen ion concentration and the bicarbonate concentration on the structure of biocoenoses of mountain brooks. Inter. Rev. der Ges. Hydr., 60:523-555.

Agradecimentos

Os autores são especialmente gratos ao Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelas facilidades concedidas durante a realização desta pesquisa; aos colegas do Laboratório de Limnologia da UFRJ; à Mineração Rio do Norte, pelo apoio logístico. Aos pós-graduandos Ricardo Barbieri, Alexandre Anesio, André Furtado, Pedro Peres, Reinaldo Bozelli e Ana Brasil pela leitura do manuscrito e valiosas sugestões realizadas, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Endereços:

CALLISTO, M.F.P.

Programa de Pós-Graduação em Ecologia - Dep. de Ecologia, Inst. Biologia, UFRJ.
C.P. 68020. Cidade Universitaria, CEP 21941.540. Rio de Janeiro, RJ. Brasil.

ESTEVES, F.A.

Departamento de Ecologia - Instituto de Biologia - UFRJ
C.P. 68020. Cidade Universitaria. CEP 21941 - 540. Rio de Janeiro, RJ. Brasil.