

CAPÍTULO 1

MICROORGANISMOS

MICROORGANISMOS EM PRAIAS ARENOSAS EXPOSTAS: IMPORTÂNCIA, ASPECTOS METODOLÓGICOS E ESTADO DA ARTE PARA O SUL DO BRASIL

ODEBRECHT, C. & ABREU, P. C.

Resumo:

Adotamos um conceito amplo de microorganismos marinhos (bactérias, microalgas, protozoários, fungos e vírus), e apresentamos suas características gerais, o seu papel como produtores primários, mineralizadores e consumidores, e os seus principais fatores controladores. Aspectos metodológicos do plano amostral, coleta e conservação de amostras, contagem e estimativa de biomassa dos diversos grupos de microorganismos são abordados. No litoral sul do Brasil, constatamos que as praias arenosas expostas apresentam alta produção primária devido à acumulação de diatomáceas da zona de arrebentação. A caracterização deste fenômeno encontra-se em estágio inicial, fazendo-se necessários estudos detalhados para quantificar os processos de produção, consumo e o destino da matéria orgânica formada nestes ambientes. Palavras-chave: diatomácea, protista, bactéria, microbentos, zona de arrebentação, Brasil Sul.

Palavras-chave: microorganismos, microbentos, praias arenosas.

Abstract:

"Microorganisms in exposed sandy beaches: importance, methodological aspects and state of art for the southern Brazilian coast"

We adopt a wide concept of marine microorganisms (bacteria, microalgae, protozoan, fungi, and virus), and present their general characteristics, controlling factors and information on the role of these organisms as primary producers, mineralizers and consumers. Methodological aspects regarding the sampling program, sample conservation, counting and biomass estimation are also discussed. At the exposed sand beaches of the southern Brazilian coast, high primary production occurs due to surf zone diatom accumulation. This is a poorly studied phenomenon, and detailed research is necessary in order to quantify the production and consumption processes, and to determine the fate of the organic matter produced in these environments. Key-words: diatom, protist, bacterium, microbenthos, surf-zone, southern Brazil.

Key-words: microorganisms, microbenthos, sandy beaches.

Definição & Características

Adotamos o termo microorganismo para os seres microscópicos unicelulares, seguindo o conceito de Haeckel (1866). Os microorganismos marinhos vivem no habitat bentônico e/ou pelágico em estuários e no mar, e pertencem a diversos grupos taxonômicos dos reinos Procaryotae = Monera (bactérias, cianobactérias ou algas azuis), Protoctista (microalgas e protozoários) e Fungi (fungos aquáticos). Também incluímos os Vírus, que não pertencem a nenhum destes grupos. A classificação e identificação dos microorganismos não é tarefa simples, devido ao seu tamanho e diversidade taxonômica e, geralmente, exigem a utilização de ferramentas especiais.

A principal característica, que estes organismos têm em comum, é o seu tamanho pequeno: a maioria é $<200\mu\text{m}$, mas variam entre $0,03\text{-}0,5\mu\text{m}$ (vírus e bactérias) e $1000\text{-}2000\mu\text{m}$ (ciliados, foraminíferos e colônias de flagelados). O pequeno tamanho impede a observação dos organismos com a vista desarmada e, mesmo o microscópio ótico, é insuficiente para a observação de organismos próximos ao limite de visibilidade deste instrumento ($\pm 0,5\mu\text{m}$). O tamanho dos organismos determina aspectos fundamentais de sua fisiologia e ecologia, como a alta taxa metabólica. Uma rápida reprodução celular, geralmente medida em horas, significa que as populações podem ser totalmente substituídas em pouco tempo, alterando a estrutura e funcionamento ecológico de todo ecossistema como resposta à modificações abióticas e/ou bióticas.

Em seu conjunto, os microorganismos apresentam uma variedade de funções metabólicas e tróficas, permitindo a adaptação de espécies a condições ambientais extremas. A energia para sua sobrevivência pode ser obtida de forma autotrófica e/ou heterotrófica; na verdade, esta distinção é mais didática do que prática, pois muitas espécies são mixotróficas, como discutido mais adiante.

Grupos Principais

Reino Procaryotae ou Monera

(sem núcleo definido nem organelas celulares complexas)

As bactérias são seres unicelulares que não apresentam um núcleo individualizado por membrana. O material genético (DNA e RNA), ribossomas e algumas inclusões, dentre as quais substâncias de reserva (glicogênio, enxofre, fosfato), encontram-se espalhados no citoplasma. Uma região de maior concentração de material genético (nucleóide), e pequenos pedaços de material genético de forma circular (plasmídeos) podem ser observados. O citoplasma está envolto pela membrana citoplasmática, uma barreira semi-permeável onde se dão as trocas entre o interior da célula e o meio circundante. A parede celular dá forma e protege a célula de possíveis lises celulares por modificação da pressão osmótica. A mobilidade destes organismos

se dá pela presença de flagelos que, diferentemente dos organismos eucarióticos, são compostos por filamentos de proteínas (flagelina), e podem estar localizados na extremidade ou ao longo de toda a célula. As cianobactérias representam um grupo especial de bactérias fototróficas aeróbicas unicelulares ou filamentosas. A sua estrutura celular é similar àquela de outras bactérias heterotróficas, das quais se distinguem pela presença de clorofila *a* e de pigmentos acompanhantes (ficobilinas). As cianobactérias podem apresentar estruturas específicas como heterocistos, cuja função é a fixação de nitrogênio, ou acinetos, que são células de resistência (Schlegel, 1986; Brock *et al.*, 1994).

Reino Protoctista

(núcleo individualizado, organelas complexas, sem tecidos verdadeiros)

Microalgas e protozoários são os termos clássicos para designar os microorganismos eucarióticos unicelulares do Reino Protoctista cujos flagelos, quando presentes, apresentam nove pares de filamentos externos, e dois filamentos internos (9+2) envolvidos pela membrana citoplasmática. Os protozoários não apresentam parede celular e, além disto, são distintos das microalgas pela ausência de pigmentos fotossintetizantes e nutrição heterotrófica. No entanto, esta dicotomia é simples demais para explicar as características complexas destes organismos, muitos dos quais são mixotróficos, isto é, certas algas ingerem partículas, e alguns protozoários apresentam comportamento autotrófico, ao manterem cloroplastos fotossintetizantes em seu citoplasma, após a ingestão de microalgas. Verifica-se, assim, que o principal critério de separação entre as microalgas e protozoários, e de sua classificação na Botânica ou Zoologia, é ineficiente. O reconhecimento deste fato fez ressurgir o conceito de protista, proposto por Haeckel (Corliss, 1990). Os protistas marinhos compreendem uma grande diversidade de espécies dentre os Phyla Rhizopoda, Cryptophyta, Zoomastigina, Euglenida/Euglenophyceae, Pymnesiophyta, Raphidophyta, Eustigmatophyta, Actinopoda, Dinoflagellata/Dinophyceae, Chrysophyta, Ciliophora, Granuloreticulosa, Bacillariophyta, Chlorophyta e Ebridia (Margulis *et al.*, 1990).

Fungos e Vírus

Fungos e vírus foram agrupados neste item não pela sua afinidade taxonômica, mas devido à pouca informação existente sobre a sua ecologia em ambientes aquáticos. Os fungos são organismos eucarióticos que apresentam alguma semelhanças com as plantas (presença de parede celular, vacúolos e circulação citoplasmática), apesar de não possuírem pigmentos fotossintéticos. Estes organismos também apresentam similaridades com células animais por produzirem glicogênio como substância de reserva. A forma de nutrição dos fungos é saprofítica (degradação de organismos mortos), o que os caracteriza como remineralizadores. Os grupos Labirintomicetos, Plasmodiforomicetos, Ficomicetos, Ascomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos ocorrem em ambientes marinhos (Rheinheimer, 1980).

Os vírus, ou partículas viróticas, são constituídos por um ácido nucleico (DNA ou RNA) envolvido por uma capa protéica (capsídeo). Alguns ainda apresentam uma membrana envoltória. O tamanho dos vírus varia de dezenas a centenas de nanômetros (10^{-9} m), e uma característica para a sua identificação é a simetria de construção helicoidal ou cúbica. Uma particularidade dos vírus é que se reproduzem, necessariamente, no interior de uma célula hospedeira. Alguns tipos de vírus se especializaram em infectar bactérias (bacteriófagos), o que pode representar um fator controlador do crescimento destes microorganismos (Schlegel, 1986).

O papel dos microorganismos em praias arenosas expostas

Produtores primários

Praias arenosas expostas são classificadas como altamente produtivas, com taxas de produção primária entre $70-1.160 \text{ kg C m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, dependendo da área geográfica e do nível de energia da praia (Campbell & Bate, 1988; Bate *et al.*, 1990). A alta produção primária se deve à abundância do principal produtor primário, as diatomáceas da zona de arrebentação. Das muitas espécies de diatomáceas neríticas encontradas na zona de arrebentação, algumas são acumuladas em grande quantidade e formam manchas lodosas, cuja biomassa sustenta a rica e diversificada macrofauna pelágica e bentônica (Brown & McLachlan, 1990). Flagelados e cianobactérias também têm um papel importante como produtores primários em praias arenosas expostas. Por outro lado, espécies de microalgas tóxicas podem ocorrer em determinadas situações, cujo consumo por filtradores resulta na contaminação e, eventualmente, na transferência de toxinas para os elos da cadeia trófica, incluindo o homem (Hallegraeff, 1993).

Remineralizadores e consumidores

Até recentemente o estudo de bactérias em ambientes de praias se restringia, principalmente, à análise da balneabilidade. A partir dos anos 80 foi dedicada maior atenção às bactérias, não só como organismos remineralizadores, mas também como canalizadores da matéria orgânica produzida pelas microalgas para o proto- e microzooplâncton (conceito do “microbial loop” = alça microbiana - Azam *et al.*, 1983). Entretanto, existe pouca informação sobre a ecologia de bactérias em zonas de arrebentação (coluna de água, sedimento ou água intersticial).

Em praias da África do Sul, a biomassa bacteriana representa mais de 87% da produção bêntica, podendo superar até três vezes a biomassa da meio- e macrofauna (Koop & Griffiths, 1982). Medidas de produtividade secundária realizadas na zona de arrebentação destas praias resultaram no consumo, pelas bactérias, de até 50% da produção primária, indicando uma grande atividade de reciclagem e disponibilidade de alimentos para os protozoários (Brown & McLachlan, 1990).

O protozooplâncton e protistas heterotróficos bentônicos podem ser caracterizados funcionalmente como remineralizadores (de matéria orgânica dissolvida e particulada), consumidores (de bactérias e protistas), e como alimento (para os metazoários planctônicos e bentônicos). Apesar da importância destas funções, elas ainda não foram quantificadas em muitas praias arenosas expostas. Em Eastern Cape, África do Sul, os protozoários bentônicos foram responsáveis por um consumo de oxigênio de $640 \text{ g C m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, similar ao da meiofauna, representando 20% do total, ambos menores do que o consumo bacteriano (Dye, 1981). O estudo dos protozoários representa um campo fértil para pesquisa, tendo em vista que o destino da biomassa autotrófica produzida nas zonas de arrebenção está associado às bactérias e protistas heterotróficos.

Fatores controladores

A principal característica das praias arenosas expostas é a sua intensa hidrodinâmica. A ação de ondas tem um forte efeito sobre variáveis físicas e químicas que, em última análise, determinam as condições de sobrevivência dos organismos que ali habitam. Dentre os principais fatores que determinam o sucesso de algumas espécies no ambiente de praia, está a adaptação a situações de elevada dinâmica e de condições ambientais contrastantes devido a alternância entre ressaca e calmaria, determinada por condições meteorológicas (passagem de frentes frias).

Praias de energia intermediária a dissipativa (*sensu* Wright & Short, 1984) apresentam pequena declividade, areia de granulometria fina a muito fina, uma larga região de arrebenção, e barras paralelas à costa em número variado. A circulação da água, apresenta (1) um componente vertical, com circulação em direção à praia na superfície, e em direção contrária sub-superficialmente, e (2) um componente horizontal, formado por correntes de deriva, e pela formação de células horizontais de circulação entre a zona de varrido e a zona de arrebenção externa (Brown & McLachlan, 1990). O tipo de circulação predominante e a ação do vento determinam a distribuição dos organismos, que pode ser em manchas (patches) ou aleatória.

A profundidade local e a ação das ondas influenciam a interação entre os ambientes pelágico e bentônico, pois determinam em grande parte as condições luminosas e nutritivas. A intensidade luminosa varia muito na zona de arrebenção, devido a ressuspensão de sedimentos. Em períodos de ressaca há uma redução severa de luz, como também durante a presença de manchas devido à grande concentração das próprias células. A adaptação à baixa luminosidade, como foi observada para a diatomácea *Anaulus australis* (du Preez *et al.*, 1990), parece ser um requisito importante.

Além de alterar a disponibilidade de luz na coluna de água, a ressuspensão de sedimentos libera nutrientes retidos na água intersticial, e introduz na coluna de água células e cistos depositados no fundo. A disponibilidade de nutrientes inorgânicos

resulta ainda de processos de turbaco e de reciclagem. Entretanto, o aporte de nutrientes de origem continental - através do lençol freático, desembocadura de rios, lagoas ou outros corpos de água - pode ser significativo e apresenta grandes variaes temporais e/ou espaciais.

Condies de grande hidrodinâmica da zona de arrebentaco, com conseqüente introduo de matéria orgânica e nutrientes na coluna de água, favorecem o crescimento de bactérias, uma vez que, devido ao seu diminuto tamanho, estes organismos não sofrem os efeitos danosos da turbulência. Para o protozooplâncton, a ressuspensão de material representa um aporte extra de matéria orgânica particulada, bem com de microorganismos bentônicos, que serão consumidos na coluna de gua.

Métodos de coleta e análise

Planejamento

Em uma primeira etapa, é importante caracterizar o ambiente e os principais organismos, sua abundância e biomassa. Estudos experimentais para responder perguntas sobre processos e relaes tróficas, por exemplo, são importantes quando as principais características dos organismos e do ecossistema já são conhecidos. Como amostragens intensivas em regiões extensas são pouco viáveis, é importante direcionar o esforço amostral (escala de tempo e de espaço) de acordo com o conhecimento prévio do ambiente e o objetivo do estudo. A coleta de amostras réplicas e a análise de subamostras resulta em um grande volume de trabalho, portanto o número total de amostras deve ser um compromisso entre a viabilidade de seu processamento, e o mínimo necessário para uma correta interpretao dos dados (Baker *et al.*, 1987). O planejamento amostral deveria incluir um teste para estimar o número de amostras necessário para atingir o nível de precisão desejado. Para análises de microorganismos, uma variabilidade de $\pm 50\%$ é suficiente (Lund *et al.*, 1958; Venrick, 1978).

Por ser de fácil acesso, a amostragem na região intertidal é a mais simples. No entanto, a distribuio frequentemente agregada dos organismos, e suas variaes temporais, impõem alguns problemas amostrais. Deve ser avaliado, por exemplo, o critério para o momento da coleta (hora do dia, ou a condio da maré), pois alguns organismos realizam migraes verticais diurnas.

Por definio, a zona de arrebentaco é caracterizada pela presença de ondas, o que torna o seu acesso difícil e, o seu estudo, um desafio. Na maior parte do tempo, o ambiente não  acessível para embarcaes quer seja da praia, ou do mar adjacente. Outro obstáculo,  a natureza heterognea deste ambiente, apesar de sua turbulência, pois correntes de deriva e de retorno, associadas  topografia de fundo, causam uma distribuio agregada de organismos planctnicos. Desta forma, é importante avaliar as perguntas que podem ser respondidas a partir dos dados obtidos

com a amostragem viável.

Idealmente, amostragens sinópticas são realizadas a partir de aeronave (helicóptero) mas, o seu alto custo, inviabiliza coletas de maior frequência temporal. Já as imagens aéreas obtidas em pequenas aeronaves, auxiliam na determinação da distribuição espacial dos organismos em meso- e macroescala. No mundo todo, existem poucos estudos sobre os microorganismos bentônicos da zona de arrebentação e, os que tratam de microalgas planctônicas, iniciaram de maneira simples, coletando-se água com um balde (Lewin & Hruby, 1973).

Coleta

Amostras de água de superfície podem ser obtidas utilizando-se baldes, enquanto que mangueiras de plástico de cor escura (para evitar o crescimento de algas), com um peso em uma das extremidades, são indicadas para coletas integradas, até 5m de profundidade. A distribuição vertical de microorganismos pode ser estudada a partir de garrafas de fechamento ou bombas de sucção. As redes (malha 20 μ m) são apenas empregadas em estudos qualitativos, uma vez que problemas de colmatagem e fuga, entre outros, impedem que este aparato forneça dados fidedignos de abundância dos organismos (Sournia 1978; Kemp *et al.*, 1993). Deve-se prestar especial atenção à presença de manchas de coloração diferente (marrom, rosada, alaranjada, esverdeada), que podem ser detectadas visualmente na espuma ou na superfície da zona de arrebentação.

Amostras quantitativas de microorganismos bentônicos são obtidas em testemunhadores (cilindros ou tubos de plástico, diâmetro 0,5-5cm), que são introduzidos na areia até à profundidade desejada (geralmente entre 0,5 e 5cm). O sedimento é retirado do testemunhador em seu todo, ou pode ser separado em extratos de profundidade. Para sedimentos finos, pode-se adaptar um sistema de pipetagem, prendendo-se uma mangueira ao testemunhador. Técnicas de mergulho são muito úteis para a coleta de microbentos.

Dados abióticos

Os principais parâmetros geomorfológicos e físicos que auxiliam na interpretação de dados biológicos são a amplitude da maré, largura da praia (zona de varrido até supralitoral) e da zona de arrebentação, altura e período das ondas, velocidade e direção do vento e das correntes, e a granulometria do sedimento (Brown & McLachlan, 1990). A utilização de corantes ou artefatos que bóiam são úteis para determinar a direção e a velocidade das correntes. Análises da temperatura, salinidade e transparência são necessárias e simples, enquanto que as de fatores químicos como pH e concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, amônia, fosfato e silicato) dependem dos objetivos do trabalho.

Análise dos microorganismos

A metodologia padrão para a contagem de bactérias utiliza fluorocromos, microscopia de fluorescência e retenção dos organismos em filtro de membrana escurecido (0,2µm de poro). Os fluorocromos mais empregados são acridina laranja (Hobbie *et al.*, 1977) e 4'-6-diamino-2-phenylindole (DAPI) (Porter & Feig, 1980), que têm a propriedade de se ligar a ácidos nucleicos e de fluorescer quando excitados por luz ultra-violeta. Emprega-se um microscópio equipado com lâmpada de mercúrio ou halogênio, e um conjunto de filtros óticos para excitação do fluorocromo no interior das células, e captação da luz emitida (fluorescência). As amostras para análise da abundância bacteriana podem ser fixadas com formaldeído 2% V/V (concentração final) ou com lugol (Pomroy, 1984; Nishino, 1986). Uma alíquota da amostra (1-2ml) é concentrada em filtro de membrana de policarbonato (0,2µm de poro), previamente escurecido com Irgalan Black (solução saturada). O material retido no filtro é corado por 10 minutos utilizando-se uma solução 0,1% V/V de acridina laranja ou DAPI, e montado entre lâmina e lamínula utilizando-se óleo de imersão livre de PCB. Maiores detalhes sobre este procedimento estão descritos em Abreu *et al.* (1992; no prelo).

A biomassa dos microorganismos pode ser obtida a partir de seu biovolume (estimado a partir de medidas de comprimento e largura) e utilização de fatores empíricos de conversão (Rieman *et al.*, 1990; Norland, 1993). A produtividade bacteriana pode ser estimada utilizando-se substâncias marcadas com o isótopo radioativo Tritium (³H) como timidina (Fuhrman & Azam, 1982) ou leucina (Kirchman 1993), que são absorvidas especificamente por bactérias heterotróficas. Informações sobre o metabolismo dos microorganismos bentônicos na zona de arrebentação podem ser obtidas a partir de medidas de consumo de oxigênio (Langdon, 1993; Hofman & Jong, 1993).

As amostras de fitoplâncton, protozooplâncton e de microbentos devem ser observadas ao microscópio ótico *in vivo*, utilizando câmaras de sedimentação ou lâminas, para auxiliar na identificação de organismos móveis e frágeis, que são deformados com a fixação da amostra. A adição de substâncias viscosas ou narcotizantes (metol) servem para diminuir o movimento de espécies móveis, e corantes auxiliam na observação de características importantes para a identificação dos organismos (Thronsen, 1978; Dragesco & Dragesco-Kernéis, 1986; Carey, 1992).

A escolha do agente de fixação e conservação representa um passo crucial, pois os resultados do trabalho dependem da conservação das amostras. Por outro lado, não existe um agente eficiente para todos os organismos. Para as microalgas, utiliza-se comumente o lugol neutro (1%V/V) mas, dependendo dos organismos presentes, é recomendada, também, a fixação com formaldeído neutralizado (0,4-1%V/V) (Thronsen, 1978) ou glutaraldeído. Este último, além de caro, exige maior cuidado em seu manuseio (Sherr *et al.*, 1993). A análise dos protistas heterotróficos

pode ser efetuada na mesma amostra fixada para o fitoplâncton com lugol, no entanto vários autores recomendam concentrações e agentes diversos (Dragesco & Dragesco-Kernéis, 1986; Carey, 1992; Sherr & Sherr, 1993). Os protistas grandes (>30µm) podem ser quantificados ao microscópio ótico em câmaras de Sedgwick Rafter, cujo limite de resolução é o aumento de 20x. A utilização de câmaras de sedimentação e observação ao microscópio ótico invertido com objetivas de 10x a 60x, é adequada para organismos maiores de 5µm, enquanto que organismos menores devem ser analisados em aumento maior (1000x). Neste último caso, o procedimento é similar ao descrito acima para as bactérias, com a filtração de volume conhecido (2-10ml), utilização de fluorocromos, e análise com microscópio de fluorescência. Este método apresenta a vantagem da observação de autofluorescência típica de clorofila *a* (vermelha) quando presente, indicando o modo trófico do organismo. Além da acridina laranja e DAPI, podem ser utilizados outros fluorocromos para os nanoflagelados (Sherr *et al.*, 1993).

Estimativas de biomassa podem ser expressas em termos de volume celular, obtido a partir de medidas das células nas três dimensões e aplicação de fórmulas geométricas. A partir do volume celular obtêm-se o teor de carbono utilizando-se fatores de conversão (Smayda, 1978; Edler, 1979). A utilização da biomassa, em carbono, tem a vantagem de facilitar a comparação de distintos grupos taxonômicos e/ou níveis tróficos, mas a desvantagem de ser uma metodologia trabalhosa. A determinação do teor de clorofila *a* representa um método rápido para a estimativa da biomassa autotrófica em um grande número de amostras (Parsons *et al.*, 1984).

Estado da arte para o litoral no extremo sul do Brasil

A presença de grande concentração de diatomáceas na zona de arrebenção é típica de praias arenosas expostas, com pequena declividade e zona de arrebenção desenvolvida, típicas da região sul do Brasil, e em alguns locais do Uruguai e Argentina. Porém, a espécie formadora de manchas é distinta nos diferentes locais: *Gonioceros armatus* predomina no sul da Argentina (Gayoso & Muglia, 1991), *Asterionellopsis glacialis* no Uruguai e Rio Grande do Sul (Odebrecht *et al.*, 1995a), *Anaulus sp.* em Santa Catarina (Rörig *et al.*, neste volume) e *Asterionellopsis glacialis* e *Anaulus sp.* no Paraná (Rezende, 1995). Para as praias do sul do Brasil, a maior concentração de células e de clorofila *a* foi registrada na Praia de Navegantes, SC (Tabela 1).

Na primeira referência sobre a variação do fitoplâncton de praia no Sul do Brasil, Gliesch (1925) ressaltou a riqueza em diatomáceas e a presença de dinoflagelados autotróficos (*Ceratium*) e heterotróficos (*Noctiluca*, *Protoperidinium*). A presença de “lodo” espesso e manchas marrom-escuras na água das praias gaúchas é um fenômeno conhecido há bastante tempo. Buckup (1967) esclareceu que o aparente “lodo” era constituído por grande concentração de uma espécie de diatomácea, *Asterionella* (= *Asterionellopsis*) *glacialis* (F. Castracane) Round, comum após o predomínio de ventos intensos do quadrante sul.

Tabela I. Concentração máxima de clorofila *a* e de células de diatomáceas na zona de arrebanção de praias arenosas expostas no Sul do Brasil.

| Local | Autor | Data | Clorofila <i>a</i> máxima $\mu\text{g l}^{-1}$ | Conc. celular máxima (cél. l^{-1}) | Espécie predominante |
|------------------|-------|-------|--|--|---|
| Cassino/RS | 1 | 07/87 | 1.647,0 | $7,0 \cdot 10^8$ | <i>A. glacialis</i> |
| Cassino/RS | 2 | 11/83 | 2.220,0 | $1,5 \cdot 10^9$ | <i>A. glacialis</i> |
| Pontal do Sul/PR | 3 | 08/92 | 9,7 | $3,0 \cdot 10^6$ | <i>A. glacialis</i> |
| | | 02/93 | 25,0 | $3,0 \cdot 10^6$ $6,0 \cdot 10^6$ | <i>A. glacialis</i> <i>Anaulus sp.</i> |
| Navegantes/SC | 4 | 10/95 | 11.080,2 | $1,0 \cdot 10^{10}$ | <i>Anaulus sp.</i> |

(Autor 1: Odebrecht *et al.* 1995a; 2: Rörig, com. pessoal; 3: Rezende, 1995; 4: Rörig *et al.*, neste volume).

Esta diatomácea representa uma fonte importante de alimento para os organismos filtradores de zooplâncton e macrobentos (Gianuca, 1985; Garcia & Gianuca, no prelo). A principal dieta de juvenis de algumas espécies de peixes mugilídeos também é composta por diatomáceas; as espécies *Asterionellopsis glacialis* e *Skeletonema costatum* podem representar 90% do conteúdo estomacal de *Mugil platanus* e *M. gaimardianus*, respectivamente (Vieira, 1985). Durante ocasiões de tempestades, depósitos de *A. glacialis* são lançados até a região supratidal e áreas próximas às dunas, onde servem de alimento para besouros e crustáceos (Gianuca, 1985).

Dentre os principais fatores que governam a variabilidade das diatomáceas na zona de arrebanção da Praia do Cassino, RS ($32^\circ 13'S$), estão os ventos (Odebrecht *et al.*, 1995a). Em um estudo da variação temporal do teor de clorofila *a* em uma estação fixa nesta praia, foi observada a alternância de uma fase com alta concentração e grande variabilidade diária e outra com baixa concentração e pequena oscilação (Fig. 1A), indicando a importância da variabilidade em pequena escala, em contraste com a mensal (Fig. 1B). A variabilidade temporal no teor de clorofila *a* esteve associada à entrada de frentes frias do quadrante Sul, cujos ventos fortes resultam no transporte de Ekman em direção à praia. As acumulações de diatomáceas resultam, em última análise, do aumento das ondas que causam a ressuspensão do sedimento e introdução de células de *Asterionellopsis glacialis* na coluna de água (Rörig, comun. pess.). Depois disto, o vento acaba por concentrar as células na praia. Durante os períodos de ressaca, a quantidade de luz na coluna de água diminui sensivelmente. Entretanto, *A. glacialis* parece estar adaptada à esta condição, uma vez que experimentos com baixa intensidade luminosa resultaram em maior teor de clorofila *a* por célula do que os realizados sob alta intensidade luminosa (Garcia, comun. pessoal).

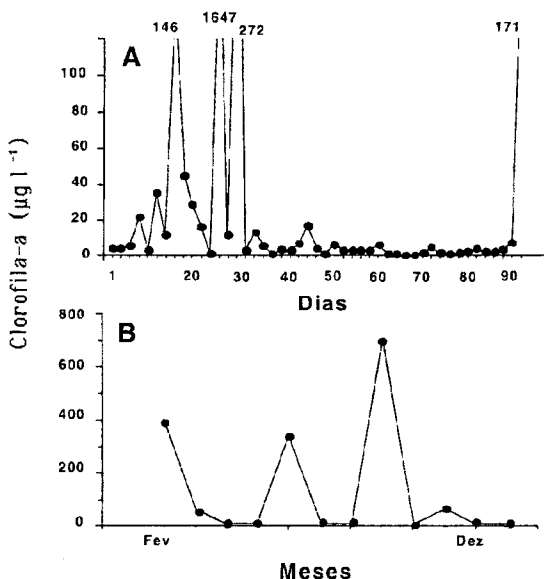


Figura 1. Teor de clorofila *a* em estação fixa na Praia do Cassino, RS, a partir de amostragens com frequência temporal alta (A, a cada dois dias) e baixa (B, mensal). (A: adaptado de Odebrecht *et al.*, 1995a).

A presença de dinoflagelados potencialmente tóxicos na zona de arrebenção (ex. *Gyrodinium cf. aureolum*, *Dinophysis acuminata* e *Noctiluca scintillans*) foi observada em algumas ocasiões nas praias gaúchas, e parece ser o resultado de um crescimento rápido dos organismos na região costeira (“offshore”) sob condições de calmaria, sendo concentrados na zona de arrebenção, quando da passagem de frentes frias (Odebrecht *et al.*, 1995b). Em quatro ocasiões, mortalidades em massa da fauna intertidal ao longo de centenas de quilômetros de praias do extremo sul do Brasil, principalmente dos moluscos *Mesodesma mactroides* e *Donax hanleyanus* foram associadas à presença de dinoflagelados na água (Rosa & Buselato, 1981; Tommasi, 1983; Odebrecht *et al.*, 1995b; Mendez, 1995). No entanto, a(s) espécie(s) e toxina(s) envolvidas nestas mortalidades ainda não foram identificadas.

Na análise de microalgas psâmicas em praia arenosa do Rio Grande do Sul (Jardim Beira-Mar) foram observados 36 taxa, com a predominância de diatomáceas penadas (64%) e de cianobactérias (17%) (Garcia-Baptista & Baptista, 1992). Também na Praia Azul, foi constatada a predominância de diatomáceas (59,8%) e de cianobactérias (19%), de um total de 120 taxa (Garcia-Baptista, 1995). A maioria dos organismos era móvel (epipéllicos), devido à presença de rafe, flagelo ou oscilação do

tricoma, e o seu sucesso foi relacionado à granulometria da areia, constituída por grãos finos e arredondados (Garcia-Baptista, 1995). A comunidade de microalgas psâmicas foi distinta da planctônica, apesar de seu intercâmbio e das espécies comuns na região de varrido (*Asterionellopsis glacialis*, *Campylosira cymbelliformis*, *Chaetoceros aff. affinis*, *Cylindrotheca closterium*, *Dimerogramma hyalinum*, *Eunotogramma dubium*, *E. laeve*, *Leptocylindrus danicus* e *Navicula cancellata*).

O estudo da ecologia de bactérias marinhas encontra-se em sua infância no Brasil, o que se deve às dificuldades metodológicas e à lentidão na incorporação de novos conceitos teóricos da ecologia aquática, como por exemplo o da alça microbiana ("microbial-loop"). O único trabalho sobre bactérias bentônicas no Sul do Brasil foi realizado na praia arenosa de Pontal do Sul-PR, onde foi avaliada a distribuição de bactérias saprofitas em um transecto perpendicular à linha da praia (Kolm & Corrêa, 1994). As maiores densidades foram observadas em preamar, o que foi atribuído à maior disponibilidade de matéria orgânica. Os menores valores encontrados na região do infra-litoral, provavelmente resultaram da ação de ondas que causam a resuspensão de sedimentos.

A abundância do bacterioplâncton, determinada em coletas semanais realizadas na Praia do Cassino, varia entre $0,3 \times 10^5$ e $0,5 \times 10^6$ células l^{-1} , com maiores valores no período mais quente. Na Figura 2, verifica-se que amostras coletadas diariamente após a ocorrência de manchas de *Asterionellopsis glacialis*, apresentam um aumento na abundância de bactérias 4-5 dias após os maiores valores de clorofila *a*, especialmente das atadas às partículas, indicando que o crescimento bacteriano pode estar relacionado à degradação de células que sedimentaram. Além disto, amostras coletadas dentro e fora de manchas de *Asterionellopsis glacialis* não apresentaram valores estatisticamente diferentes.

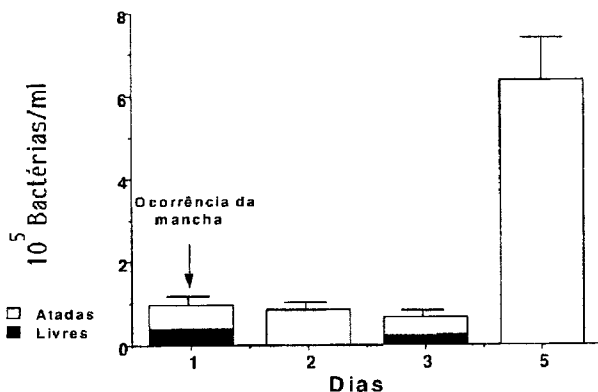


Figura 2. Abundância de bactérias livres e atadas a partículas (10^5 células ml^{-1}) após a ocorrência de manchas de *Asterionellopsis glacialis* na Praia do Cassino. Barras correspondem ao erro padrão da contagem.

Conclusões

Praias arenosas expostas do litoral sul do Brasil apresentam alta produtividade, determinada pelas condições que propiciam a acumulação de diatomáceas em sua zona de arrebentação, as quais representam a base de uma rica cadeia alimentar. Até o presente, os poucos estudos forneceram uma caracterização geral, havendo necessidade de aprofundar o conhecimento destes ricos ambientes, principalmente para se quantificar a magnitude dos processos de produção e o destino da matéria orgânica formada, incluindo sua remineralização e consumo por organismos de níveis tróficos superiores. Além disso, questões de seleção e adaptação de espécies poderiam ser abordadas em um estudo comparativo entre as diversas praias. Dificuldades metodológicas decorrentes da grande dinâmica nestes ambientes constituem um problema, mas devem ser superadas com criatividade inovadora.

Agradecimentos

C. Odebrecht e P. C. Abreu são bolsistas pesquisadores do CNPq. A realização deste trabalho contou com o apoio financeiro do projeto PADCT/CIAMB/FURG-CAPES e CNPq.

Referências bibliográficas

- ABREU, P. C.; B. BIDDANDA & C. ODEBRECHT 1992. Bacterial dynamics of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil (32° S, 52° W): relationships with phytoplankton production and suspended material. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **35**: 621-635.
- ABREU, P. C.; H. W. GRANÉLI & C. ODEBRECHT (no prelo). Produção fitoplanctônica e bacteriana na região da pluma estuarina da Lagoa dos Patos. *Atlântica, Rio Grande*, **18**.
- AZAM, F.; T. FENCHEL; J. G. FIELD; J. S. GRAY; L. A. MEYER-REIL & F. THINGSTAD 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, **10**: 257-263.
- BAKER, J. M.; J. P. HARTLEY & M. M. DICKS 1987. Planning Biological Surveys. pp. 1-26. In Baker, J. M. & W. J. Wolff (eds). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Estuarine and Brackish-water Association Handbook. Cambridge University Press. Cambridge.

- BATE, G. C.; E. E. CAMPBELL & M. M. B. TALBOT 1990. Primary Productivity of the Sandy Beach Surf Zones of Southern Africa. pp. 41-53. In: Barnes, M. & R. N. Gibson (eds). *Trophic Relationships in the Marine Environment*. University Press, Aberdeen.
- BROCK, T. D.; M. T. MADIGAN; J. M. MARTINKO & J. PARKER 1994. *Biology of Microorganisms*. 7thed., Prentice Hall-Englewood Cliffs, N. Jersey, 909 pp.
- BROWN, A. C. & A. McLACHLAN 1990. *Ecology of Sandy Shores*. Elsevier, Amsterdam. 328 pp.
- BUCKUP, L. 1967. Quando o mar se torna pardacento: iôdo ou plâncton marinho? *Correio do Povo, Suplemento Rural, Porto Alegre, 17/02/1967*. p. 8.
- CAMPBELL, E. E. & G. C. BATE 1988. The estimation of annual primary production in a high energy surf-zone. *Botanica Marina*, **31**: 337-343.
- CAREY, P. G. 1992. *Marine Interstitial Ciliates, Illustrated Key*. Chapman & Hall, Lond., 351 pp.
- CORLISS, J. O. 1990. Towards a Nomenclatural Protist Perspective. pp. xxv-xxx. In: Margulis, L.; J. O. Corliss ; M. Melkonian & D. J. Chapman (eds). *Handbook of Protoctista*, Jones & Bartlett Publ., Boston.
- DRAGESCO, J. & A. DRAGESCO-KERNÉIS 1986. *Introduction à la Connaissance et à l'Etude des Ciliés*. ORSTOM, Collect. Faune Tropicale 26, 559 pp.
- Du PREEZ, D. R.; E. E. CAMPBELL & G. C. BATE 1990. Photoinhibition of photosynthesis in the surf diatom, *Anaulus australis* Drebes et Schulz. *Botanica Marina*, **33**: 539-543.
- DYE, A. H. 1981. A study of benthic oxygen consumption on exposed sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Marine Science*, **13**: 671-680.
- EDLER, L. 1979. *Recommendations on Methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea*. The Baltic Marine Biologists Publ. 5, 38 pp.
- FUHRMAN, J. & F. AZAM 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton in marine surface waters: evaluation and field studies. *Marine Biology*, **66**: 109-120.
- GARCIA-BAPTISTA, M. & L. R. M. BAPTISTA 1992. Algas psâmicas de Jardim Beira-Mar, Capão da Canoa, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Biologia*, **52**: 325-342.

- GARCIA-BAPTISTA, M. 1993. Psammic algae from Praia Azul, Brazil. *Bibliotheca Phycologica*, **94**: 1-167.
- GARCIA-BAPTISTA, M. 1995. The distribution of psammic algae on a marine beach, Praia Azul, Brazil. *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium 1994*: 183-205.
- GARCIA, V. M. T. & N. M. GIANUCA (no prelo). The Beach and Surfzone Ecosystem. In: Seeliger, U.; C. Odebrecht & J. P. Castello (eds). *Ecosystems of Subtropical Convergence Regions: The Coast and Sea in the Warm-Temperate Southwestern Atlantic*. Springer Verlag, Heidelberg.
- GAYOSO, A. M. & V. H. MUGLIA 1991. Blooms of the surf zone diatom *Gonioceros armatum* (Bacillariophyceae) on the South Atlantic coast (Argentina). *Diatom Research*, **6**: 247-253.
- GIANUCA, N. M. 1985. *The Ecology of a Sandy Beach in Southern Brazil*. Dissertação de Doutorado. University of Southampton. 330 pp.
- GLIESCH, R. 1925. O plancton de Torres. *Egatheia*, **10**: 294-300.
- HAECKEL, E. 1866. *Generelle Morphologie der Organismen*. 2 vols. G. Reimer, Berlin.
- HALLEGRAEFF, G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, **32**: 79-99.
- HOBBIE, J. E.; R. J. DALEY & S. JASPER 1977. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Applied Environmental Microbiology*, **33**: 1225-1228.
- HOFMAN, P. A. G. & S. A. JONG 1993. Sediment community production and respiration measurements: the use of microelectrodes and bell jars. pp. 455-463. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- KEMP, P. F., B. F. SHERR, E. B. SHERR & J. J. COLE 1993. *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*. Lewis Publishers, Boca Raton, 777 pp.
- KIRCHMAN, D. L. 1993. Leucine Incorporation as a Measure of Biomass Production by Heterotrophic Bacteria. pp. 509-512. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.

- KOLM, H. E & M. F. CORRÊA 1994. Distribuição espacial e variabilidade temporal de bactérias saprófitas na praia arenosa de Pontal do Sul, Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, **37**: 391-402.
- KOOP, K. & GRIFFITHS, C. L. 1982. The relative significance of bacteria, meio- and macrofauna on an exposed sandy beach. *Marine Biology*, **66**: 295-300.
- LANGDON, C. 1993. Community Respiration Measurements using pulsed O₂ Electrode. pp. 447-454. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr ; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- LEWIN J. & T. HRUBY 1973. Blooms of surf zone diatoms along the coast of the Olympic Peninsula, Washington. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **1**: 101-105.
- LUND, J. W. G.; C. KIPLING & E. D. Le CREN 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, **11**: 143-170.
- MARGULIS, L.; J. O. CORLISS; M. MELKONIAN & D. J. CHAPMAN 1990. *Handbook of Protoctista*. Jones and Bartlett Publishers, Boston, 914 pp.
- MENDEZ, S. 1995. Bivalve mortality on southwest Atlantic shores. *IOC-UNESCO-Harmful Algal News*, **10/11**: 12.
- NISHINO, S. F., 1986. Direct Acridine Orange counting of bacteria preserved with acidified lugol iodine. *Applied Environmental Microbiology*, **52**: 602-604.
- NORLAND, S. 1993. The Relationship between Biomass and Volume of Bacteria. pp. 303-308. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- ODEBRECHT, C.; A. Z. SEGATO & C. A. FREITAS 1995a. Surf-zone chlorophyll *a* variability at Cassino Beach, southern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **41**: 81-90.
- ODEBRECHT, C.; RÖRIG, L. R.; GARCIA, V. M. T. & ABREU, P. C. 1995b. Shellfish Mortality and a Red Tide Event in Southern Brazil. pp. 213-218. In: Lassus, P.; G. Arzul; E. Erard-le Denn; P. Gentien & C. Marcaillou-le Baut (eds). *Harmful Marine Algal Blooms*. Lavoisier Publishing, Paris.
- PARSONS, T. R.; Y. MAITA & C. M. LALLI 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.

- POMROY, A. J. 1984. Direct counting of bacteria preserved with lugol iodine solution. *Applied Environmental Microbiology*, **47**: 1191-1192.
- PORTER, K. G. & Y. S. FEIG 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography*, **25**: 943-948.
- REZENDE, K. R. V. 1995. *Dinâmica Temporal do Fitoplâncton de Zona de Arrebentação da Praia de Pontal do Sul (Paranaguá, Pr.)*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 71 pp.
- RHEINHEIMER, G. 1980. *Aquatic Microbiology*. John Wiley & Sons, Chichester, 235 pp.
- RIEMAN, B.; H. M. SØRENSEN; P. K. BJØRNSSEN; S. J. HORSTED; L. M. JENSEN; T. G. NIELSEN & M. SØNDEGAARD 1990. Carbon budgets of the microbial food web in estuarine enclosures. *Marine Ecology Progress Series*, **65**: 159-170.
- RÖRIG; L. R.; C. RESGALLA Jr.; P. R. PEZZUTO; E. dos S. ALVES & F. MORELLI (neste volume). Análise ecológica de um processo de acumulação da diatomácea **Anaulus sp.** na zona de arrebentação da Praia de Navegantes (Santa Catarina, Brasil). *Oecologia Brasiliensis*, **3**: 29-43.
- ROSA, Z. M. & T. C. BUSELATO 1981. Sobre a ocorrência de floração de **Gyrodinium aureolum** (Dinophyceae) no litoral do Estado do Rio Grande do Sul. *Iheringia, Porto Alegre*, **28**: 169-179.
- SCHLEGEL, H. G. 1986. *General Microbiology*. 6th ed., University Press, Cambridge, 587 pp.
- SHERR, E. B. & B. F. SHERR 1993. Preservation and Storage of Samples for Enumeration of Heterotrophic Protists. pp. 207-212. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr ; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- SHERR, E. B.; D. A. CARON & B. F. SHERR 1993 Staining of Heterotrophic Protists for Visualization via Epifluorescence Microscopy. pp. 213-227. In: Kemp, P. F.; B. F. Sherr ; E. B. Sherr & J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- SMAYDA, T. J. 1978. From Phytoplankters to Biomass. pp. 273-279. In: Sournia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. Monographs on Oceanographic Methodology 6, UNESCO, Paris.

- SOURNIA, A. 1978. *Phytoplankton Manual*. Monographs on Oceanographic Methodology 6, UNESCO, Paris. 337 pp.
- THRONSEN, J. 1978. Preservation and Storage. pp. 69-74. In: Sournia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. Monographs on Oceanographic Methodology 6, UNESCO, Paris.
- TOMMASI, L. R. 1983. Observações sobre a irritação respiratória humana ocorrida em 1978 no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Ciência Cultura, S. Paulo*, **35**: 225-232.
- VENRICK, E. L. 1978 Sampling Strategies. pp. 7-16. In: Sournia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. Monographs on Oceanographic Methodology 6, UNESCO, Paris.
- VIEIRA, J. P. 1985 *Distribuição, Abundância e Alimentação dos Jovens de Mugilidae no Estuário da Lagoa dos Patos e Movimentos Reprodutivos da Tainha **Mugil platanus** (Gunther 1880) no Litoral Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade do Rio Grande. 104 pp.
- WRIGHT, L. D. & A. D. SHORT 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, **56**: 93-118.

Endereço

ODEBRECHT, C. & ABREU, P. C.

Departamento de Oceanografia - Fundação Universidade do Rio Grande. Caixa Postal 474.
Rio Grande, RS. cep: 96201-900. E-mail: DOCLAR@SUPER.FURG.BR