

Ambientes recifais de Pernambuco

MUTUE TOYOTA FUJII
ADILMA DE LOURDES M. COCENTINO
ARSENIO J. ARECES
[Org.]

Algas indicadoras de qualidade ambiental
e potencial biotecnológico

MUTUE TOYOTA FUJII
ADILMA DE LOURDES M. COCENTINO
ARSENIO J. ARECES
[Org.]

Ambientes recífaís de Pernambuco

Algas indicadoras de qualidade
ambiental e potencial biotecnológico



RECIFE
2024

EDITORA ASSOCIADA À



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Universidade Federal de Pernambuco

Reitor: Alfredo Macedo Gomes

Vice-Reitor: Moacyr Cunha de Araújo Filho

Editora UFPE

Diretor: Junot Cornélio Matos

Vice-Diretor: Diogo Cesar Fernandes

Editor: Artur Almeida de Ataíde

Conselho Editorial (Coned)

Alex Sandro Gomes

Carlos Newton Júnior

Eleta de Carvalho Freire

Margarida de Castro Antunes

Marília de Azambuja R. Machel

Editoração

Revisão de texto: Igor Andreas Rodrigues Bandim

Projeto gráfico: Pedro Henrique Gomes dos Santos

Catálogo na fonte

Biblioteca Kalina Ligia França da Silva, CRB4-1408

A492 Ambientes recifais de Pernambuco [recurso eletrônico] : algas indicadoras de qualidade ambiental e potencial biotecnológico / organizadores: Mutue Toyota Fujii, Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino, Arsenio J. Areces. – Recife : Ed. UFPE, 2024.

Vários autores.

Inclui referências.

ISBN 978-65-5962-203-0 (online)

1. Ecologia dos recifes de coral – Pernambuco. 2. Algas marinhas – Pernambuco – Identificação. 3. Algas vermelhas – Pernambuco. 4. Indicadores biológicos. I. Fujii, Mutue Toyota (Org.). II. Cocentino, Adilma de Lourdes Montenegro (Org.). III. Areces, Arsenio J. (Org.).

551.46

CDD (23.ed.)

UFPE (BC2024-005)



Realização



DEPARTAMENTO
OCEANOGRAFIA



IPA
INSTITUTO DE
PESQUISAS AMBIENTAIS



SUMÁRIO

1

Apresentação 7

2

Prefácio 9

3

Introdução 11

4

Caracterização dos recifes costeiros
do litoral de Pernambuco 15

5

Macroalgas indicadoras de qualidade
ambiental nos recifes de Pernambuco 34

6

Macroalgas vermelhas de importância
econômica no litoral de Pernambuco 58

7

Espécies do complexo *Laurencia*
(Ceramiales, Rhodophyta) nos estados
da Paraíba e de Pernambuco
e seu potencial biotecnológico 78

Macroalgas produtoras de substâncias antioxidantes 97

Monitoramento do potencial de invasão
de *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta)
no litoral da Paraíba e de Pernambuco 125

Dinoflagelados potencialmente tóxicos
associados às macroalgas 142

Sobre as autoras e os autores 166



Figura 1 Comunidade de algas sobre o recife da praia de Enseada dos Corais, litoral Sul de Pernambuco.

Fonte: Mutue T. Fujii.

APRESENTAÇÃO

A obra *Ambientes recifais de Pernambuco: algas indicadoras de qualidade ambiental e potencial biotecnológico*, dividida em sete capítulos, apresenta e caracteriza os recifes costeiros do litoral de Pernambuco, com descrições e ilustrações de macroalgas capazes de indicar a qualidade ambiental, além de rodófitas de importância econômica e daquelas conhecidas por pertencerem ao complexo *Laurencia* (Rhodophyta) – algumas das quais prolíficas produtoras de substâncias naturais, com um amplo espectro de atividade biológica, como anti-incrustante, antimetabólica, anticancerígena, antifúngica, antiparasitária e antioxidante, entre outras. Inclui, também, estudos de caso de monitoramento do potencial de invasão de uma alga vermelha, *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta), proveniente da Indonésia e cultivada em algumas regiões do país, com o propósito de maricultura. O último capítulo trata de microalgas dinoflageladas potencialmente tóxicas, associadas às macroalgas que ocorrem nos ambientes recifais.

Convidamos os leitores a desfrutarem do exercício de identificar, por meio de comparação visual, as macroalgas que ocorrem nos ambientes recifais tropicais do Brasil, avaliando, assim, o estado de conservação ambiental desses lugares.

Grande parte do conhecimento apresentado neste livro foi fruto dos dados obtidos por alunos dos Programas de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO/UFPE) e em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente (IPA), sob a orientação dos organizadores deste volume, através de dissertações e teses, destacando a importância dessa parceria na ciência.

Nesse sentido, queremos expressar os nossos agradecimentos às nossas instituições: o Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA); a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística de São Paulo; o Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); o Instituto de Geografía Tropical, em Havana; e o Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, de Cuba, assim como às agências de fomento à pesquisa (Capes, CNPq, Fapece e Fapesp), pelos apoios logístico e financeiro, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Um agradecimento especial é reservado ao colega e amigo do Departamento de Oceanografia da UFPE, o Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho, Vice-Reitor

da UFPE, pelo incentivo e pelo apoio incondicionais para que esta publicação se tornasse realidade.

Agradecemos também a todos os autores que acreditaram nos nossos trabalhos e não desistiram de tornar públicas as suas pesquisas, mesmo depois de transcorrido longo tempo desde a sua concepção. Agradecemos aos nossos familiares, ainda, o incentivo e a compreensão por nossas muitas ausências em prol da ciência.

Mutue Toyota Fujii
Adilma de Lourdes M. Cocentino
Arsenio J. Areces

PREFÁCIO

Este volume foi fruto de uma sementeira que envolveu muito esforço, dedicação e amor por parte de um grupo de pesquisadores em macroalgas marinhas, entre eles a Dra. Mutue Toyota Fujii (Instituto de Pesquisas Ambientais, São Paulo), a Dra. Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino (Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco) e o Dr. Arsenio J. Areces (Instituto de Geografia Tropical de Havana, Cuba), que, em conjunto, construíram um grande grupo de pesquisa multi-institucional, entendendo que a união faz a força e que, juntos, podemos muito mais. Foram mais de três décadas de conhecimentos adquiridos em campo e em laboratório através de estudos detalhados, em que muitas horas foram gastas para se obter a máxima quantidade de espécies identificadas e de informações sobre suas relações com o ambiente onde vivem, além de dados sobre seu potencial biotecnológico.

Destaca-se que boa parte do material aqui apresentado decorreu da contribuição de vários alunos em suas pesquisas de dissertação e tese, principalmente junto ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO/UFPE), onde os professores acima citados atuaram de forma efetiva. Evidencia-se, nesta obra, a formação de mestres e doutores de alto nível, adquirida por jovens dedicados à pesquisa científica de forma séria e responsável.

Todo o acervo de macroalgas aqui apresentado e descrito está depositado em sua maioria no Museu de Oceanografia Petrônio Alves Coelho, da UFPE, servindo como fonte de trabalho a diversos pesquisadores, bem como de material didático aos iniciantes na investigação dessa rica e maravilhosa flora, que forma um multicolorido jardim marinho.

Ressalta-se, nesta obra extraordinária, o ambiente recifal, um ecossistema de grande relevância na costa nordestina, pois funciona como barreira de proteção das praias e como fonte de inúmeros recursos pesqueiros, contribuindo direta e indiretamente para a economia de subsistência de várias comunidades litorâneas, para além de ser um elemento-chave no equilíbrio ecológico e no desenvolvimento sustentável marinho.

Associadas ao ecossistema recifal nordestino, as macroalgas constituem um de seus atores principais, apresentando uma grande variedade de formas, tamanhos e colorações, com ciclos que obedecem à lei da vida de nascer, crescer, multiplicar-se

e morrer, sendo seu papel oferecer alimento, abrigo, oxigênio e inúmeros outros serviços ecológicos e biotecnológicos.

Dessa forma, são apresentadas, nas páginas deste volume, de forma magistral e inédita, imagens das principais espécies de macroalgas indicadoras de qualidade ambiental e de importância econômica que ocorrem nos recifes costeiros do Nordeste. Além disso, são evidenciadas aquelas produtoras de substâncias ativas biológicas e antioxidantes, passíveis de serem usadas nas indústrias alimentar e farmacêutica, entre outras. Enfoca-se, ainda, a problemática das espécies invasoras. Esta edição contribui, ainda, para o conhecimento dos dinoflagelados potencialmente tóxicos associados às macroalgas.

Este livro declara e anuncia, por fim, mais uma das maravilhas das obras de Deus, o Criador da vida: as macroalgas!

Sigrid Neumann Leitão

INTRODUÇÃO

As comunidades biológicas refletem a integridade ecológica total (física, química e biológica) dos ecossistemas, agregando os efeitos dos diferentes agentes causadores de distúrbios e fornecendo uma medida conjunta dos impactos sofridos (BARBOUR *et al.*, 1999). Associando-se as informações biológicas com a caracterização física e química, pode-se obter, de maneira eficaz, dados para diagnosticar o grau de degradação ambiental, e aliá-los aos resultados dos seus efeitos sobre os ecossistemas. Tais informações podem também ser utilizadas para avaliar o fluxo ou gradiente de impactos, por fontes de poluentes tanto pontuais quanto difusas (PLOTNIKOFF; WISEMAN, 2001).

O desequilíbrio de um ecossistema aquático manifesta-se nas populações pelo desenvolvimento de dois fenômenos que são inversos e simultâneos: por uma parte, o surgimento e a proliferação de espécies seletivas; por outra, o desaparecimento de parte ou de toda a população original do meio. Para determinar a qualidade biológica de um ecossistema é possível utilizar as populações como marcos de referência, em que a presença ou ausência dos organismos é fundamental, ou verificar a existência de organismos indicadores que podem caracterizar algum tipo de contaminação (ORTEGA, 2000).

Além de excelentes bioindicadoras, as macroalgas são, do ponto de vista econômico, importantes recursos que podem ser utilizados na alimentação de homens e animais, além de servirem como matéria-prima para indústrias de diversos segmentos através dos ficocoloides, como ágar-ágar, carragenanas e alginatos (OLIVEIRA, 1998). As algas marinhas bentônicas crescem sobre os mais diferentes substratos, porém os recifes constituem um dos melhores habitats para o desenvolvimento de uma flora algal diversificada. A ocorrência de bancos de macroalgas de importância comercial no litoral Nordeste do Brasil já está bem documentada (PINHEIRO-VIEIRA; FERREIRA, 1968; FERREIRA *et al.*, 1988; OLIVEIRA, 1997, 1998; OLIVEIRA; MIRANDA, 1998; PEREIRA *et al.*, 1981). A exploração de algas ocorre principalmente nos estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba, e está relacionada às espécies do gênero *Gracilaria* Guiry J. N. Norris, Fredericq & Gurgel, e *Hypnea pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M. C. Oliveira (como *H. musciformis*) (ARAÚJO *et al.*, 2004; MIRANDA, 2000; 2006; OLIVEIRA, 1997; 1998; OLIVEIRA; MIRANDA, 1998), embora algas dos gêneros *Gracilariopsis* E. Y. Dawson e *Meristiella* D. P. Cheney também sejam coletadas em menor quantidade.

O impacto da intensa exploração dos bancos naturais de algas marinhas já é visível na natureza, levando algumas populações ao desaparecimento ou à drástica redução na sua produtividade.

A recuperação dos ambientes a partir de bancos degradados de algas marinhas é recente, e apenas alguns grupos iniciaram estudos nessa linha (LARGO; OHNO, 1993; MERRILL; GILLINGHAN, 1991; TERAWAKI *et al.*, 2003). Entretanto, podemos ampliar o conceito de recuperação de áreas degradadas para um contexto de manejo de populações submetidas à exploração, alertando para o fato de que o impacto sobre populações que se comportam como dominantes na comunidade tem efeitos mais amplos, afetando todo o equilíbrio do ecossistema no qual a população está inserida (MIRANDA, 2000). Alveal e Romo (1995) reforçam a necessidade de que o manejo esteja alicerçado sobre um conhecimento profundo da espécie, bem como da comunidade e do ecossistema envolvido.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar os recifes costeiros do litoral de Pernambuco e catalogar digitalmente, através de imagens de alta resolução, as principais espécies indicadoras de qualidade ambiental e as de importância econômica, principalmente pela produção de ficocoloides, tais como ágar e carragenana, além de algumas produtoras de substâncias com atividades biológicas e antioxidantes. Compõe este trabalho, também, um estudo de caso com os dinoflagelados potencialmente tóxicos associados às macroalgas que ocorrem no litoral pernambucano, servindo como alerta para a atenção necessária a esse aspecto.

O trabalho foi elaborado em forma de catálogo e utiliza linguagem acessível a toda a comunidade, com o intuito de contribuir para uma melhor compreensão dos ambientes recifais marinhos de Pernambuco e arredores, de suas relações com as macroalgas que habitam esses substratos e, principalmente, da necessidade de sua conservação.

REFERÊNCIAS

ALVEAL, K.; ROMO, H. Estudios zonacionales. *In*: ALVEAL, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA, E. C.; SAR, E. (Ed.). *Manual de métodos ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, p. 611-642. 1995.

ARAÚJO, P. G.; MIRANDA, G. E. C.; KANAGAWA, A. I.; FARIAS, J. N.; SILVEIRA, T. C. Cultivo de *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta) no litoral do município de Pitimbu, Paraíba, Brasil. In: V Reunião da Sociedade Brasileira de Ficologia, Salvador. *Resumos da V Reunião da Sociedade Brasileira de Ficologia* - CD-ROM. 2004.

BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton. *Benthic Macroinvertebrates and Fish* (Second edition). us Environmental Protection Agency Office of Water, Washington, DC. 1999.

FERREIRA, M.; PEREIRA, S. M. B.; CARVALHO, F.; TEIXEIRA, G.; MELO, L. B. P.; PEDROSA, M. E. B. Prospecção dos bancos de algas marinhas dos estados da Paraíba, de Pernambuco e de Alagoas. *Gayana*, v. 45, p. 413-422. 1988.

LARGO, D. B.; OHNO, M. Constructing an artificial seaweed bed. In: OHNO, M.; CRITCHLEY, A. T. (Ed.). *Seaweed cultivation and marine ranching*, p. 113-130. 1993.

MERRILL, J. E.; GILLINGHAM, D. M. Seaweed management systems for use in habitat restoration, environmental management and mitigation. In: Puget Sound Research '91 proceedings. *Puget Sound Water Quality Authority*. Olympia, WA, p. 354-363. 1991.

MIRANDA, G. E. C. *Avaliação do impacto da exploração (simulada) da alga agarófita Gracilaria caudata (Rhodophyta) no litoral do Estado da Paraíba*. 2000. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

MIRANDA, G. E. C. Exploração e cultivo de macroalgas no Brasil: o longo caminho para a sustentabilidade. In: MARIATH, J. E. A.; SANTOS, R. P. (Org.). *Os avanços da botânica no início do século XXI: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética*. Porto Alegre, Imagine & Design Editorial, p. 269-273. 2006.

OLIVEIRA FILHO, E. C. A exploração de algas marinhas no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. *Phycologia Latino-Americana*, v. 1, p. 5-18. 1981.

OLIVEIRA, E. C. Macroalgas marinhas de valor comercial: técnicas de cultivo. *Panorama da Aquicultura*, v. 42, p. 42-45. 1997.

OLIVEIRA, E. C. The seaweed resources of Brazil. In: CRITCHLEY, A.; OHNO, M. (Ed.). *Seaweeds of the World*, p. 366-371. 1998.

OLIVEIRA, E. C.; MIRANDA, G. E. C. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. *In: PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINO, M.; SANTOS, D. P.; PLASTINO, E. M.; FUJII, M. T.; YOKOYA, N. S. (Ed.). Anais do IV Congresso Latino-americano, II Reunião Ibero-americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia*. Caxambu - MG. Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe, v. 2, p. 149-156. 1998.

ORTEGA, J. L. Algas. *In: ESPINO, G. L.; PULIDO, S. H.; PÉREZ, J. L. C. (Ed.). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. Plaza y Valdés, México, p. 109-193. 2000.

PEREIRA, S. M. B.; OLIVEIRA FILHO, E. C.; ARAÚJO, M. S.; MELO, L. B. P.; CARVALHO, F.; CÂMARA NETO, C. Prospecção dos bancos de algas marinhas do Estado do Rio Grande do Norte – II. Profundidade de 10-45 m. *Estudos de Pesca*, v. 9, p. 27-81. 1981.

PINHEIRO-VIEIRA, F.; FERREIRA, M. M. Algas marinhas de interesse industrial para o Nordeste brasileiro. *Boletim da Estação de Biologia Marinha da Universidade Federal do Ceará*, v. 20, p. 1-9. 1968.

PLOTNIKOFF, R. W.; WISEMAN, C. Benthic macroinvertebrate biological monitoring protocols for rivers and streams. *Washington State Department of Ecology, Environmental Assessment Program*, Olympia, WA, p. 34. 2001.

TERAWAKI, Y.; YOSHIKAWA, K.; UCHIMURA, M.; ISEKI, K. Ecology and restoration technique for Sargassum beds in the Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution*, v. 47, p. 189-201. 2003.

Caracterização dos recifes costeiros do litoral de Pernambuco

EDSON R. T. P. P. VASCONCELOS / JULIANE B. VASCONCELOS /
ADILMA L. M. COCENTINO / THIAGO N. V. REIS /
ARSENIO J. ARECES / MUTUE T. FUJII

INTRODUÇÃO

A degradação, a perda e a fragmentação de habitats constituem consequências diretas das pressões antrópicas sobre o meio natural (FAO, 2003; HANSSON *et al.*, 2007; MURDOCH *et al.*, 2007), e, por isso, sua identificação resulta em um parâmetro muito útil para alcançar uma gestão ambiental eficaz. Essa identificação facilita o manejo, a conservação da biodiversidade e a proteção de espaços significativos por seu patrimônio natural ou valor cênico, assim como o uso racional do solo em ações de planejamento territorial (FRASCHETTI *et al.*, 2008; GODET *et al.*, 2009).

A classificação e o mapeamento de habitats marinhos se baseiam em atributos como a zona, ou a localização, referente à posição espacial e à utilização de descritores semiquantitativos ou quantitativos, tais como abundância, biomassa ou densidade da vegetação e os grupos faunísticos dominantes referentes à cobertura biológica. Desde a fase inicial de agrupamento desses atributos, eles são combinados com diversos elementos geomorfológicos para formar classes mutuamente excludentes (BALLESTEROS *et al.*, 2007; KENDAL *et al.*, 2001; MADLEY *et al.*, 2002). Com este fim se empregam critérios explícitos relativos ao tipo de substrato, nível da costa, presença de bioconstrutores e espécies engenheiras (FRASCHETTI *et al.*, 2008), geoformas (ALCOLADO, 2014; COCHRAN-MARQUEZ, 2005; FINKBEINER *et al.*, 2001), composição e abundância relativa de espécies (BULLERI; BENEDETTI-CECCHI, 2006).

Uma proporção significativa dos recifes costeiros com topos e platôs emersos do Nordeste brasileiro é constituída pelos chamados arenitos de praia, que são formados entre as latitudes 35 °N e 35 °S (RUSSELL, 1962), principalmente em águas com temperaturas de 25 °C ou mais e marés compreendidas entre 2 m e 4 m. Os mesmos estão integrados por estruturas rochosas sedimentares de formação recente compostas por areia quartzítica cimentada com carbonato de cálcio e, eventualmente, sílica ou óxido de ferro (BRANNER, 1904; DOMINGUEZ *et al.*, 1990; LABOREL, 1969; VOUSDOKAS *et al.*, 2007). No litoral nordestino, eles formam cordões paralelos à linha de costa, às vezes com vários quilômetros de extensão. Nessa região, outros recifes, denominados de coralino-algálicos, foram reconhecidos. Esses recifes são formados por uma base arenítica, acrescida de organismos construtores, como algas calcárias, vermitídeos e corais (DOMINGUEZ, 1990). O crescimento dessas estruturas a partir de uma acreção

biogênica leva a uma maior complexidade do habitat, com inúmeros canais e buracos cavados por herbívoros, como ouriços (GUERRA; MANSO, 2004).

Trabalhando na região costeira de Pernambuco, Vasconcelos (2016) associou e categorizou, em escala local, os habitats intermareais de origem recifal existentes no estado, a partir de um esquema de classificação “*bottom-up/top-down*”. Dessa forma, foram considerados seis atributos paisagísticos em mesoescala (Orientação geográfica, Influência dos rios, Tipo de formação, Proteção, Distância da costa e Comprimento total) e seis em microescala (Largura, Inclinação, Altura, Orientação em relação ao norte geográfico, Rugosidade e Cobertura vegetal).

ÁREA DE ESTUDO

A costa de Pernambuco possui 187 km de extensão ($7^{\circ}32'52''S$, $34^{\circ}50'27''W$ e $8^{\circ}54'57''S$, $35^{\circ}09'76''W$) e está localizada (Figura 1.1) na província biogeográfica do Atlântico Sudoeste Tropical e na ecorregião Nordeste do Brasil (SPALDING *et al.*, 2007). Considerando a classificação de Köppen (1948), o clima local é o tropical úmido (Ams'), com temperaturas médias anuais variando entre 25 °C (mínimo) e 30 °C (máximo) (CPRH, 2003). Existem duas estações bem definidas na região: seca (setembro a fevereiro) e chuvosa (março a agosto). A região possui regime de marés semidiurnas, com *swell* predominante de E-SE, e temperatura média superficial do mar entre 27 °C e 29 °C (MANSO *et al.*, 2006). A costa de Pernambuco representa apenas 4% do território estadual. Entretanto, abriga 40% da população de Pernambuco (IGBE, 2021).

Correlações entre variáveis paisagísticas e morfológicas revelam a diferenciação dessas estruturas recifais de acordo com sua origem. Nas formações com presença massiva de algas, a rugosidade se relaciona com a distância da costa dos locais de amostragem, bem como com a largura e o comprimento total. Já nos recifes areníticos, a altura e a inclinação são distintas, e a proximidade da costa determina os elementos estruturais da formação. As comunidades de macroalgas responderam a esses atributos formando biótopos característicos. A partir da estrutura física (*bottom-up*) e das características de cobertura da comunidade algal (*top-down*), pôde-se, *a priori*, considerar a hierarquização de tipologias (habitats e biótopos) para relacionar as formações recifais existentes no litoral de Pernambuco.

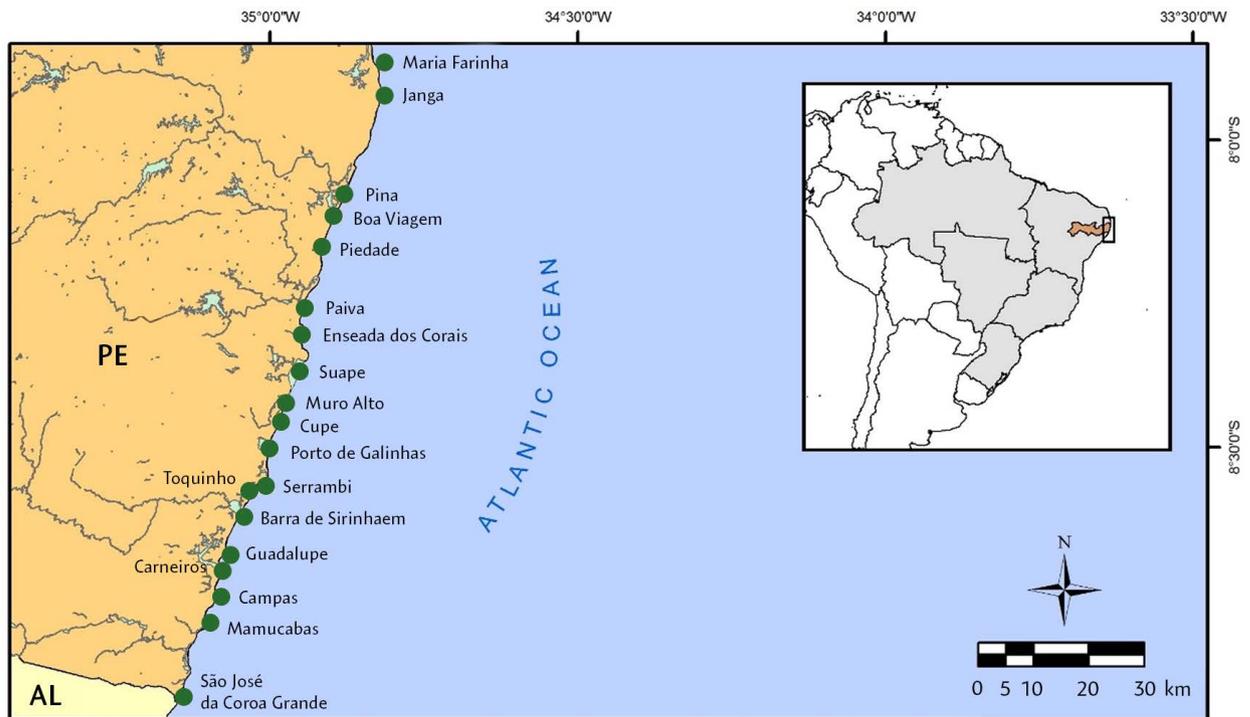


Figura 1.1 Localização das formações recifais estudadas no litoral de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Fonte: Vasconcelos (2016).

HIERARQUIZAÇÃO DE TIPOLOGIAS (HABITATS E BIÓTOPOS)

1. HABITAT: RECIFES DE ARENITO

Formações: Pina-Boa Viagem-Piedade-Toquinho-Enseada dos Corais-Suape



Figura 1.2 Exemplos de recifes de arenito no litoral pernambucano. Esses recifes são constituídos pelos chamados arenitos de praia. Fonte: Edson Vasconcelos.

1.1 BIÓTOPO SARGASSUM-PALISADA-LAURENCIA



Figura 1.3 Recife de arenito da praia de Enseada dos Corais, Pernambuco, evidenciando a presença das macroalgas *Sargassum* sp., *Palisada perforata* e *Laurencia* sp.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



Figura 1.4 Recife de arenito da praia de Toquinho, Pernambuco, evidenciando a presença das macroalgas *Sargassum* sp., *Palisada perforata* e *Laurencia* sp.

Fonte: Edson Vasconcelos.

1.2 BIÓTOPO PALISADA-SARGASSUM-ACANTHOPHORA

Formação: Suape



Figura 1.5 Recife de arenito da praia de Suape, Pernambuco, evidenciando a presença das macroalgas *Sargassum* sp., *Palisada perforata* e *Laurencia* sp. Fonte: Edson Vasconcelos.

1.3 BIÓTOPO ESPÉCIES OPORTUNISTAS

Formações: *Piedade-Pina-Boa Viagem*



Figura 1.6 Recifes de arenito da praia do Pina, Pernambuco, evidenciando a presença das macroalgas verdes (Chlorophyta) oportunistas. Essas algas crescem rapidamente em locais onde há despejo de esgoto.
Fonte: Edson Vasconcelos.



Figura 1.7 Recifes de arenito da praia de Boa Viagem, Pernambuco, evidenciando a presença das macroalgas verdes (Chlorophyta) oportunistas em certos pontos da formação recifal.
Fonte: Juliane Vasconcelos.

2. HABITAT: RECIFES CORALÍNEO-ALGÁLICOS

Formações: *Campas-Serrambi-Mamucabas-Paiva-São José da Coroa Grande*



Figura 1.8 Exemplos de recifes coralíneo-algálicos no litoral pernambucano.
Fonte: Edson Vasconcelos.

2.1 BIÓTOPO *CAULERPA-GELIDIUM-JANIA*

Formação: *São José da Coroa Grande*

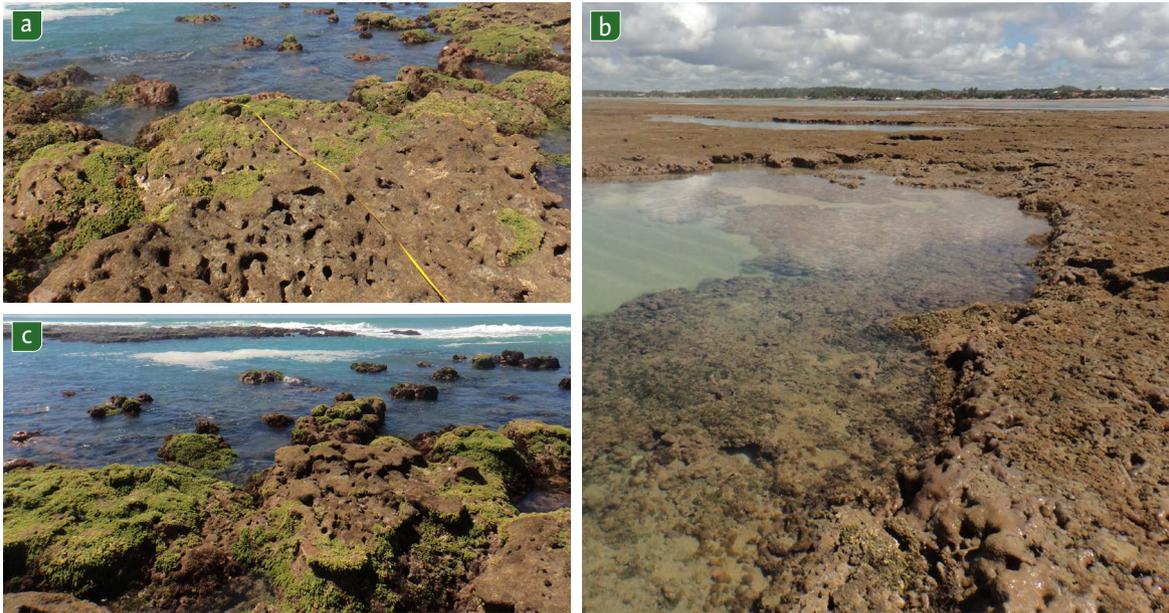


Figura 1.9

Recifes coralíneo-algálicos da praia de São José da Coroa Grande, no litoral pernambucano.

Fonte: Edson Vasconcelos.

2.2 BIÓTOPO *GELIDIELLA-PALISADA-CAULERPA*

Formação: *Campas-Serrambi-Mamucabas-Paiva*

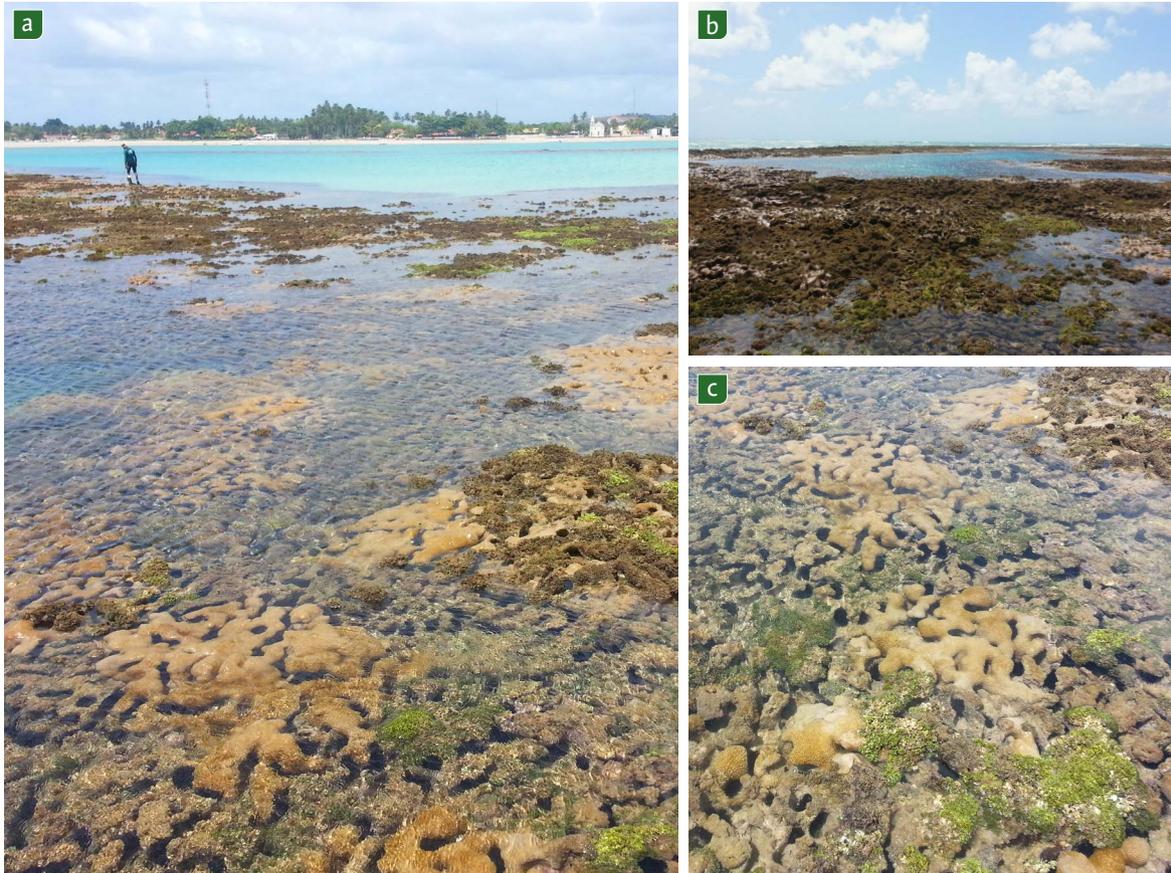


Figura 1.10 Recifes coralíneo-algálicos da praia de Campas, no litoral pernambucano.

Fonte: Edson Vasconcelos.



Figura 1.11 Recifes coralíneo-
algálicos da praia do Paiva,
no litoral pernambucano.
Fonte: Edson Vasconcelos.



Figura 1.12 Recife coralíneo-algálico da praia de Mamucabas, no litoral pernambucano.
Fonte: Edson Vasconcelos.

3. HABITAT CARNEIROS

3.1 BIÓTOPO *DICTYOTA-PADINA*

Formação: *Carneiros*

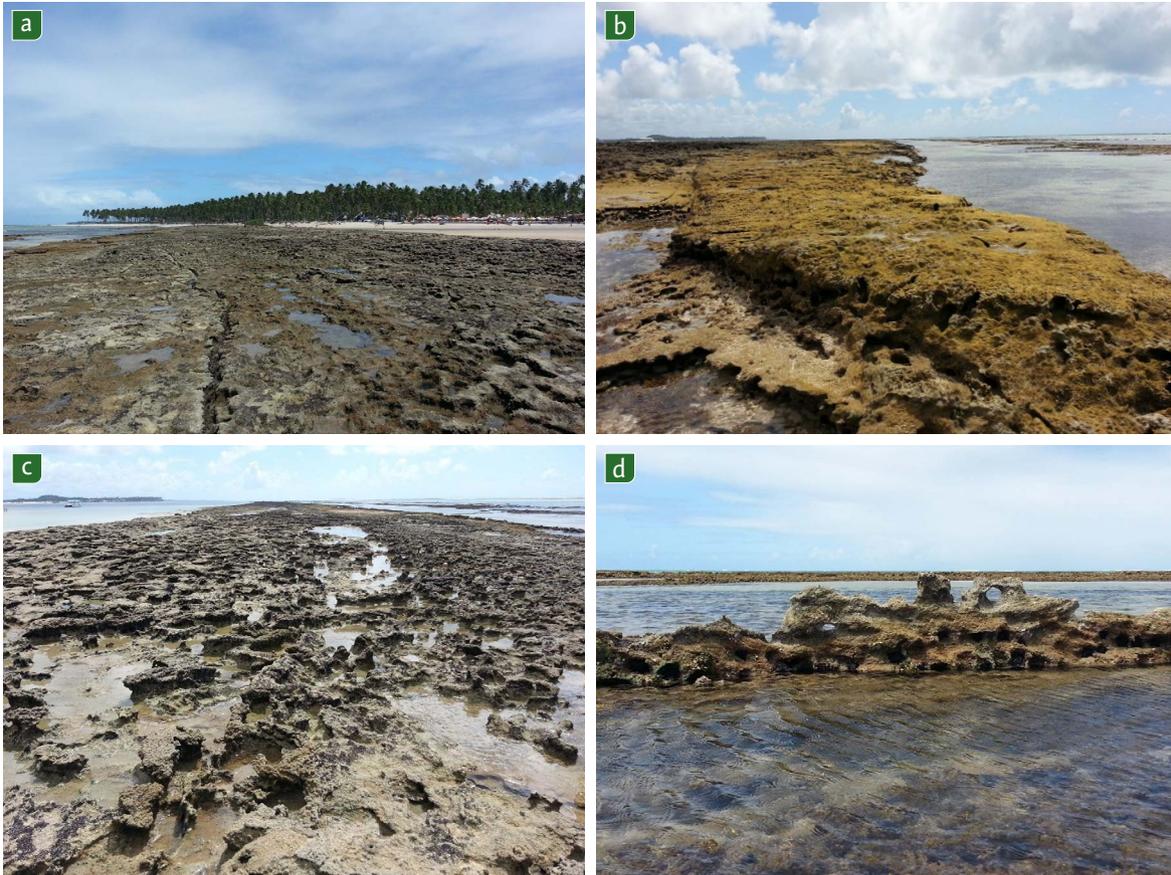


Figura 1.13 Exemplos de recifes mistos na praia dos Carneiros, no litoral pernambucano.

Essas formações recifais se distinguem dos recifes areníticos e dos coralíneos-algálicos por apresentarem características de ambas as formações. Predominam as bioconstruções feitas por herbívoros, como o ouriço-do-mar.

Fonte: Edson Vasconcelos.

A classificação de habitats a partir de variáveis *bottom-up/top-down* em mesoescala, através de análise de paisagens, e em microescala, através de amostragem em campo, é difundida por diversos trabalhos há mais de uma década (EASTWOOD *et al.*, 2006; FREDERIKSEN *et al.*, 2004; GUARINELLO *et al.*, 2010). Quantificar a biodiversidade utilizando como *proxy* o habitat e os biótopos tem sido uma boa alternativa frente ao cálculo a partir de inventários genéricos ou específicos, particularmente quando não se pretende realizar um levantamento detalhado, e sim um mapeamento em escalas espaciais maiores (CUSHMAN *et al.*, 2008; WARD *et al.*, 1999).

Dessa maneira, a elaboração de indicadores de qualidade adaptados a locais com características ecossistêmicas semelhantes facilitará o monitoramento de sua qualidade ambiental a longo prazo, permitindo discernir, com maior precisão, a natureza das mudanças que neles ocorrem.

REFERÊNCIAS

- ALCOLADO, P. M. Conocimientos básicos para un monitoreo voluntario rápido de alerta temprana en arrecifes coralinos. In: HERNÁNDEZ-ZANUY, A.; ALCOLADO, P. M. (Ed.). *Métodos para el estudio de la biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros para la adaptación al cambio climático*. Red CYTED BIODIVMAR Instituto de Oceanología, La Habana (ISBN: 978-959-298-031-0), p. 122-185. 2014.
- BALLESTEROS, E.; TORRAS, X.; PINEDO, S.; GARCIA, M.; MANGIALAJO, L.; DE TORRES, M. A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, v. 55, n. 1, p. 172-180. 2007.
- BRANNER, J. C. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations, with a chapter on the coral reefs. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, v. 44, p. 1-285. 1904.
- BULLERI, F.; BENEDETTI-CECCHI, L. Mechanisms of recovery and resilience of different components of mosaics of habitats on shallow rocky reefs. *Oecologia*, v. 149, n. 3, p. 482-492. 2006.
- COCHRAN-MARQUEZ, S. A. Moloka'i benthic habitat mapping: u.s. Geological Survey Open-File Report 2005-1070, components of mosaics of habitats on shallow rocky reefs. *Oecologia*, v. 149, p. 482-492. 2005.

CPRH. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. *Diagnóstico socioambiental litoral sul de Pernambuco*. Recife. 2003.

CUSHMAN, S. A.; MCKELVEY, K. S.; FLATHER, C. H.; MCGARIGAL, K. Do forest community types provide a sufficient basis to evaluate biological diversity?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 6, p. 13-17. 2008.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20, p. 208-215. 1990.

EASTWOOD, P. D.; SOUISSI, S.; ROGERS, S. I.; COGGAN, R. A.; BROWN C. J. Mapping seabed assemblages using comparative top-down and bottom-up classification approaches. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 63, n. 7, p. 1536-1548. 2006.

FAO. The Ecosystem Approach to Fisheries. *FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries*, v. 4. FAO, Rome. 2003.

FINKBEINER, M.; STEVENSON, B.; SEAMAN, R. Guidance for benthic habitat mapping: an aerial photographic approach. *NOAA Coastal Services Center, National Oceanic and Atmospheric Administration*, p. 75. 2001.

FRASCHETTI, S.; TERLIZZI, A.; BOERO, F. How many habitats are there in the sea (and where)?. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 366, n. 1, p. 109-115. 2008.

FREDERIKSEN, M.; KRAUSE-JENSEN, D.; HOLMER, M.; LAURSEN, J. S. Long-term changes in area distribution of eelgrass (*Zostera marina*) in Danish coastal waters. *Aquatic Botany*, v. 78, n. 2, p. 167-181. 2004.

GODET, L.; FOURNIER, J.; TOUPOINT, N.; OLIVIER, F. Mapping and monitoring intertidal benthic habitats: a review of techniques and a proposal for a new visual methodology for the European coasts. *Progress in Physical Geography*, v. 33, n. 3, p. 378-402. 2009.

GUARINELLO, M. L.; SHUMCHENIA, E. J.; KING, J. W. Marine habitat classification for ecosystem-based management: a proposed hierarchical framework. *Environmental management*, v. 45, n. 4, p. 793-806. 2010.

GUERRA, N. C.; MANSO, V. A. V. Beachrocks (Recifes de Arenito). In: ESKINAZI-LEÇA, E; NEUMANN-LEITÃO, S; COSTA, M. F. (Ed.). *Oceanografia um cenário tropical*. Bagaço: Recife. p. 109-130. 2004.

HANSSON, S.; HJERNE, O.; HARVEY, C.; KITCHELL, J. F.; COX, S. P. ESSINGTON, T. E. Managing Baltic Sea fisheries under contrasting production and predation regimes: ecosystem model analyses. *AMBIO: a Journal of the Human Environment*, v. 36, n. 2, p. 265-271. 2007.

IBGE. Diretoria de Pesquisas. *Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1 de julho de 2021*: população estimada. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 1 jul. 2021.

KENDALL, M. S.; KRUER, C. R.; BUJA, K. R.; CHRISTENSEN, J. D.; FINKBEINER, M.; MONACO, M. E. Methods used to map the benthic habitats of Puerto Rico and the us Virgin Islands. *NOAA, NOS, NCCOS, Silver Spring MD*, p. 45. 2001.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. *Fondo de Cultura Econômica*. México. p. 479. 1948.

LABOREL, J. L. Madreporaires et hidrocoralliaires recifaux dès cotes brésiliennes. Systematique, ecologie, repartition verticale et geographic. *Annales de L'Institut Océanographique*, Paris, v. 47, p. 171-226. 1969.

MADLEY, K. A.; SARGENT, B.; SARGENT, F. J. Development of a system for classification of habitats in estuarine and marine environments (SCHEME) for Florida. u.s. Environmental Protection Agency, Gulf of Mexico Program (Grant Assistance Agreement MX-97408100), Florida Marine Research Institute, *Florida Fish and Wildlife Conservation Commission*, St. Petersburg, Florida, p. 43. 2002.

MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; SOARES, C. F. A. Pernambuco. In: MUEHE, D. (Ed). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil, p. 179-196. 2006.

MURDOCH, T. J. T. *et al.* Large-scale decline in offshore seagrass meadows in Bermuda. *Marine Ecology Progress Series*, v. 339, p. 123-130. 2007.

RUSSELL, R. J. Origin of beachrock. *Zeitschrift für Geomorphologie, Coastal Studies*, Louisiana State University, v. 6, p. 1-16. 1962.

SPALDING, M. D.; FOX, H. E.; ALLEN, G. R.; DAVIDSON, N.; FERDAÑA, Z. A.; FINLAYSON, M. A. X.; HALPERN, B. S.; JORGE, M. A.; LOMBANA, A.; LOURIE S. A.; MARTIN, K. D.; MCMANUS, E.; MOLNAR, J.; RECCHIA, C. A.; ROBERTSON, J. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, v. 57, n. 7, p. 573-583. 2007.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. *Macroalgas marinhas como ferramenta de avaliação do estado de conservação de ambientes recifais em Pernambuco*. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

VOUSDOKAS, M.; VELEGRAKIS, A.; PLOMARITIS, T. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, v. 85, p. 23-46. 2007.

WARD, T. J.; VANDERKLIFT, M. A.; NICHOLLS, A. O.; KENCHINGTON, R. A. Selecting marine reserves using habitats and species assemblages as surrogates for biological diversity. *Ecological Applications*, v. 9, p. 691-698. 1999.

Macroalgas índicadoras de qualidade ambiental nos recifes de Pernambuco

ADILMA L. M. COCENTINO / EDSON R. T. P. P. VASCONCELOS /
TIAGO RODRIGUES / RENATO ROCHA-JORGE / LUANDA P. SOARES /
BEATRIZ BRUNELLI / NATHALIA C. GUIMARÃES-BARROS / JULIANE B.
VASCONCELOS / THIAGO N. V. REIS / ARSENIO J. ARECES /
MUTUE T. FUJII



Figura 2.1 Imagem subaquática da comunidade fitobentônica do recife da praia do Cupe, Ipojuca, PE.
Fonte: Renato Rocha-Jorge.

INTRODUÇÃO

As macroalgas marinhas são organismos fotossintetizantes que vivem fixos em algum tipo de substrato sólido, encontrado nos diversos ambientes costeiros ao longo do litoral. Elas são responsáveis pelas trocas gasosas, pela ciclagem de nutrientes e pela estabilização dos habitats; abrigam, ainda, uma diversidade de fauna associada e servem, também, como substratos para diversas espécies de macroalgas. Dessa forma, as macroalgas representam componentes importantes na comunidade fitobentônica marinha e constituem parte da sua beleza cênica, juntamente com os corais e outros organismos (Figura 2.1).

A importância ecológica das macroalgas vai além: elas podem ser usadas como indicadoras naturais de alterações ambientais. Por exemplo, as algas verdes, conhecidas como alface-do-mar (*Ulva*), são excelentes indicadoras de entrada de águas que contenham excesso de nutrientes, tais como o nitrogênio e o fósforo provenientes de esgotos e rejeitos industriais lançados nas águas (MARINHO-SORIANO, 2005). Isso acontece porque essas espécies são nitrófilas e funcionam como biorremediadoras ou biofiltros, absorvendo parte desses nutrientes para o seu crescimento. Por outro lado, ambientes com grande diversidade de algas geralmente são locais saudáveis e indicam equilíbrio entre os seus componentes. De acordo com esse princípio, a diversidade e a distribuição das macroalgas nos substratos podem indicar o estado de conservação do meio ambiente (VASCONCELOS, 2016). As macroalgas são organismos úteis para monitorar a qualidade ambiental e detectar impactos provenientes de atividades antropogênicas (DÍEZ *et al.*, 2009; PIAZZI *et al.*, 2001). Por conta de sua condição sésstil, esses organismos estão suscetíveis aos efeitos de longo prazo da exposição ao excesso de nutrientes e outros poluentes, resultando em um decréscimo ou, até mesmo, no desaparecimento das mais sensíveis e na consequente substituição dessas por espécies oportunistas (MURRAY; LITTLER, 1978).

O litoral de Pernambuco possui 187 km de extensão e abriga uma rica diversidade de macroalgas, num total de 385 táxons (incluindo espécies e níveis hierárquicos inferiores), sendo uma das ficofloras mais bem conhecidas no Nordeste do país (MENEZES *et al.*, 2015). A região costeira é uma área fortemente influenciada por impactos antropogênicos como consequência de crescimento populacional e atividades

socioeconômicas, as quais incluem: agricultura, pesca, aquicultura, indústria e turismo. Os impactos nos ecossistemas associados a essa região são plurais e cumulativos, tais como a destruição de habitats, a sobrepesca, a poluição, a presença de espécies invasoras e, em maiores escalas, o aumento do nível do mar e o aquecimento global (UNEP-WCMC, 2011). Nenhuma dessas pressões sobre o ambiente é isolada, e seus efeitos cumulativos impactam os ecossistemas marinhos e a sua capacidade de oferecer bens e serviços ecossistêmicos (HALPERN *et al.*, 2008; WORM *et al.*, 2006).

As macroalgas têm sido frequentemente utilizadas para evidenciar modificações espaciais provocadas por diferentes pressões ou alterações temporais associadas, ou não, às mudanças climáticas (ARECES-MALLEA *et al.*, 2015; REIS *et al.*, 2012; SCHERNER *et al.*, 2013; VASCONCELOS *et al.*, 2013). Espécies de macroalgas reconhecidas por sua sensibilidade ambiental, e que ocorrem num ambiente em processo de eutrofização nas praias do estado de Pernambuco, foram levantadas por Souza e Cocentino (2004) e Santos e colaboradores (2006), e compilados em Areces-Mallea e colaboradores (2015), que listaram 12 táxons pertencentes a Rhodophyta, cinco a Chlorophyta e uma espécie de Phaeophyceae.

Mais recentemente, Vasconcelos (2016) realizou estudos sobre macroalgas bentônicas como uma ferramenta para avaliação do estado de conservação dos ambientes recifais em Pernambuco, e relacionou 18 espécies mais significativas que indicam impactos causados pelo alto grau de urbanização ou por processos de urbanização, que, segundo a literatura, estão relacionados com o pisoteio, a sedimentação e a contaminação orgânica. O trabalho foi realizado tanto em estruturas recifais areníticas como em coralíneo-algálicas, e as espécies selecionadas neste trabalho corroboram os diversos autores que realizaram estudos no Nordeste do Brasil (SOUZA; COCENTINO, 2004; SANTOS *et al.*, 2006; SIMÕES *et al.*, 2009; SCHERNER *et al.*, 2013; GUIMARAENS *et al.*, 2014).

Para atender aos propósitos de utilizar o presente trabalho para a identificação visual da qualidade ambiental, o aspecto do ambiente e as espécies indicadoras dessas comunidades foram fotografados e descritos sucintamente, considerando as características morfológicas diagnósticas de cada uma. A sistematização taxonômica está de acordo com Wynne (2017), com as atualizações do *status* de acordo com AlgaeBase (GUIRY; GUIRY, 2023).

SINOPSE DAS ESPÉCIES DE MACROALGAS SELECIONADAS COMO INDICADORAS DE IMPACTOS CAUSADOS PELO ALTO GRAU DE URBANIZAÇÃO OU POR PROCESSOS DE URBANIZAÇÃO NO LITORAL PERNAMBUCANO

FILO RHODOPHYTA
 Classe Florideophyceae
 Ordem Corallinales
 Família Corallinaceae
Corallina officinalis Linnaeus
 Ordem Ceramiales
 Família Ceramiaceae
Centroceras gasparrinii (Meneghini) Kützing
 Família Rhodomelaceae
Acanthophora spicifera (Vahl) Børgesen
 Ordem Gelidiales
 Família Gelidiellaceae
Gelidiella acerosa (Forsskål) Feldmann & Hamel
 Ordem Gigartinales
 Família Gigartinaceae
Chondracanthus acicularis (Roth) Fredericq
 Família Cystocloniaceae
Hypnea pseudomusciformis Nauer, Cassano & M. C. Oliveira
 Ordem Gracilariales
 Família Gracilariaceae
Gracilaria caudata J. Agardh
Gracilaria domingensis (Kützing) Sonder ex Dickie
 Ordem Rhodymeniales
 Família Lomentariaceae
Ceratodictyon planicaule (W. R. Taylor) M. J. Wynne

FILO OCHROPHYTA
 Classe Phaeophyceae
 Ordem Dictyotales
 Família Dictyotaceae
Padina gymnospora (Kützing) Sonder

FILO CHLOROPHYTA
 Classe Ulvophyceae
 Ordem Ulvales
 Família Ulvaceae
Ulva lactuca Linnaeus
Ulva flexuosa Wulfen

Classe Bryopsidophyceae
 Ordem Bryopsidales
 Família Bryopsidaceae
Bryopsis pennata J. V. Lamouroux
 Família Caulerpaceae
Caulerpa fastigiata Montagne
Caulerpa prolifera (Forsskål) J. V. Lamouroux
Caulerpa racemosa (Forsskål) J. Agardh

DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES DE MACROALGAS BIOINDICADORAS DE PERNAMBUCO

FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Corallinales

Corallina officinalis Linnaeus

Algas eretas, calcificadas, crescendo em tufos, com talo cilíndrico na base e nas extremidades e achatada na porção mediana. Coloração róseo-pálida, e de 7 cm a 8 cm de altura. Talo formado por eixos segmentados ou geniculados, constituídos por nós sem calcificação e por internós calcificados disticamente, ramificados em um único plano.

Habitat: *Corallina officinalis* forma população densa na zona mediana a inferior da região entremarés na face voltada ao oceano com forte hidrodinamismo. Devido às características do talo, a espécie abriga uma grande diversidade de organismos associados.

Figura 2.2 *Corallina officinalis* (seta).

(a) Formação de densa população na zona entremarés, na face voltada ao oceano. (b) Detalhe do talo.

Escala = 0,5 cm.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

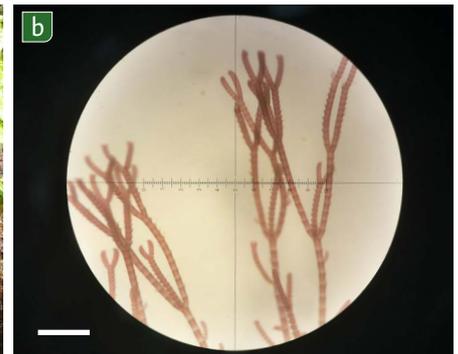
Ordem Ceramiales

Centroceras gasparrinii (Meneghini) Kützing

Talo filamentoso constituído por nós e entrenós, com corticação contínua, ereto, porém com algumas porções basais prostradas. Vermelho de claro a escuro, com 1 cm a 4 cm de comprimento, formando densos tufos. O talo se fixa no substrato por rizoides pluricelulares oriundos dos nós da porção prostrada. Eixos eretos, abundantemente ramificados, dicotomicamente. Ápices forcipados (em forma de fórceps), presença de espinhos curtos bicelulares nos nós.

Habitat: Espécie bastante comum, principalmente no topo recifal, exposto ao batimento das ondas, mas cresce parcialmente coberta por areia e também associada a várias outras espécies de macroalgas. A espécie está amplamente distribuída no litoral brasileiro e, até recentemente, era identificada como *C. clavulatum*. Porém, Won e colaboradores (2009) demonstraram, com base em análises morfológicas e moleculares, que *C. clavulatum* está restrita ao oceano Pacífico (Peru – localidade-tipo –, norte do Chile, sul da Califórnia, sul da Austrália e Nova Zelândia), enquanto *C. gasparrinii* está distribuída nos oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, no Golfo do México e no mar do Caribe.

Figura 2.3 *Centroceras gasparrinii* (seta). (a) Tufo durante a maré baixa. (b) Detalhe do ápice em forma de fórceps. Escala = 250 µm. Fonte: Mutue T. Fujii (a) e Juliane Vasconcelos (b).



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Ceramiales

Acanthophora spicifera (Vahl) Børgesen

Talo de marrom claro a marrom avermelhado, às vezes enegrecido, formando tufos, com até 18 cm de comprimento. Fixo ao substrato por um pequeno apressório discóide. Eixos cilíndricos, ramificados irregularmente, com ramos laterais geralmente alternos, os quais produzem râmulos espinescentes. Ramificação geralmente escassa na região basal.

Habitat: a espécie é muito comum, encontrada no topo recifal ou parcialmente recoberta por areia nas regiões calmas da praia. E resiste, ainda, a períodos prolongados de dessecação e ao pisoteio.

Figura 2.4 *Acanthophora spicifera*.

(a) Aspecto geral da população.

(b) Detalhe do talo. Escala = 1 cm.

Fonte: Juliane Vasconcelos (a) e Mutue T. Fujii (b).



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Gelidiales

Gelidiella acerosa (Forsskål) Feldmann & Hamel

Plantas eretas de coloração avermelhada a amarelada, com até 7 cm de altura, fixas ao substrato por filamentos rizoidais independentes. Os ápices dos ramos são obtusos, com célula apical proeminente. Talo cartilaginoso, rígido, com ramificação pinada oposta bastante característica.

Habitat: essa é uma das espécies mais comuns nos ambientes tropicais e mais fáceis de serem identificadas, devido ao seu aspecto geral e por ocorrer no platô recifal, formando densas populações, sujeitas à dessecação por longo período durante as marés baixas.

Figura 2.5 *Gelidiella acerosa*.

(a) População sobre recife durante maré baixa. (b) Hábito de um tufo de talos apresentando ramificação pinada. Escala = 1 cm.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Gigartinales

Chondracanthus acicularis (Roth) Fredericq

Talo ereto, cartilaginoso (consistência de uma cartilagem), de coloração violácea a amarronzada, formando tufos com cerca de 5 cm a 10 cm de altura e 0,5 cm de diâmetro. Ramificação abundante, de alterna a irregular, com a porção apical afilada e, geralmente, recurvada. Talo cilíndrico formado pela região medular filamentosa, constituída por células repuxadas, tornando visíveis somente as ligações entre as células, rodeadas por células corticais pequenas, formando a região cortical.

Habitat: *Chondracanthus acicularis* cresce na parte inferior da região entremarés, geralmente nas porções abrigadas, formando densa população. É facilmente reconhecida devido à sua textura escorregadia, ao tato.

Figura 2.6 *Chondracanthus acicularis*.

(a) Aspecto geral. (b) Detalhe dos talos com ápices afilados e, muitas vezes, recurvados. Escala = 1 cm.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Gigartinales

Hypnea pseudomusciformis Nauer, Cassano & M. C. Oliveira

Alga com textura cartilaginosa, filamentosa. Ereta a emaranhada, de coloração vinácea a enegrecida, às vezes esverdeada, com até 12 cm comprimento e entre 0,5 cm e 1 cm de diâmetro. Fixa ao substrato por apressório discoide, exceto quando cresce como epífita sobre outras macroalgas. Talo cilíndrico, com ápice afilado e enrolado em forma de gavinhas. Ramificação densa, de alterna a irregular, às vezes espinescente. Em corte transversal, o talo é formado por várias camadas de células medulares grandes, arredondadas, e, a região cortical, por células pequenas, pigmentadas.

Habitat: a espécie cresce praticamente em todos os tipos de ambientes, formando tufos, ou como epífitas, sobre várias espécies de macroalgas, fixando-se firmemente com as gavinhas. São encontradas em ambientes protegidos, bem como são expostas aos batimentos das ondas. A espécie possui grande importância econômica pela produção de carragenana, que tem papel relevante como substância espessante na indústria alimentícia.

Figura 2.7 *Hypnea pseudomusciformis* (seta). (a) População crescendo como epífita sobre outras espécies. (b) Detalhe do ramo mostrando os ápices terminando em gavinhas. Escala = 2 mm.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Gracilariales

Gracilaria caudata J. Agardh

Alga ereta, de talo cilíndrico, com coloração rosa-pálida a avermelhada, às vezes amarronzada, e até esverdeada, com 15 cm a 20 cm de altura e 1,5 cm a 1,7 cm de diâmetro, formando tufos densos, fixos ao substrato por apressório pequeno. Ramificação alterna a irregular, às vezes unilateral, e porções apicais afiladas. Talo sólido, constituído por células grandes na região medular e por células menores na região cortical. A estrutura de reprodução, denominada cistocarpo (fase produtora de carposporângios), é frequentemente observada como uma estrutura saliente sobre os talos. Outras fases da reprodução são mais difíceis de serem observadas a olho nu.

Habitat: a espécie é comum em piscinas que se formam em ambientes recifais durante a maré baixa, crescendo parcialmente coberta pela areia, e é encontrada sem as porções apicais, provavelmente, devido à herbivoria. Essa espécie é uma das principais produtoras de ágar no Brasil e está sendo cultivada em estados do Nordeste, pelas comunidades costeiras, como forma de complementação da renda familiar.



Figura 2.8 *Gracilaria caudata*.

Aspecto geral.

Fonte: Mutue T. Fujii.

FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Gracilariales

Gracilaria domingensis (Kützling) Sonder ex Dickie

Alga ereta, com textura cartilaginosa, de coloração entre róseo-avermelhada, vermelho-vinácea e marrom-esverdeada, formando tufos isolados com até 30 cm de comprimento, fixos ao substrato por apressório discoide. Talo achatado, inteiramente ramificado. Ramificação oposta-dística, de alterna a irregular, dependendo dos espécimes examinados. Em corte transversal, o talo é formado por várias camadas de células medulares ligeiramente achatadas, e, a região cortical, por células pequenas, pigmentadas, com transição gradual entre as regiões cortical e medular.

Habitat: *Gracilaria domingensis* cresce no limite entre a areia e a formação recifal, na parte interna do recife, abrigada do batimento direto das ondas. A espécie também pertence ao grupo das agarófitas.

Figura 2.9 *Gracilaria domingensis*.

Aspecto geral.

Fonte: Edson Vasconcelos.



FILO RHODOPHYTA

Classe Florideophyceae

Ordem Rhodymeniales

Ceratodictyon planicaule (W. R. Taylor) M. J. Wynne

Planta ereta, de consistência rígida, áspera ao toque, de cor vinácea a marrom-escura, cilíndrica nas porções basais e comprimidas mais acima, com 5 cm a 8 cm de altura e 1 cm a 1,2 cm de diâmetro. Ramificação esparsa, irregular, com ápices arredondados, formados por várias células apicais (multiaxial). Talo sólido, constituído de várias camadas de células medulares justapostas e de duas a três camadas de células corticais pigmentadas.

Habitat: a espécie é encontrada nas porções inferiores da região entremarés, geralmente associadas a outras macroalgas de maior porte.

Figura 2.10 *Ceratodictyon planicaule*.
Aspecto geral de tufos rígidos, formando densa população onde ocorrem.
Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO OCHROPHYTA

Classe Phaeophyceae

Ordem Dictyotales

Padina gymnospora (Kützinger) Sonder

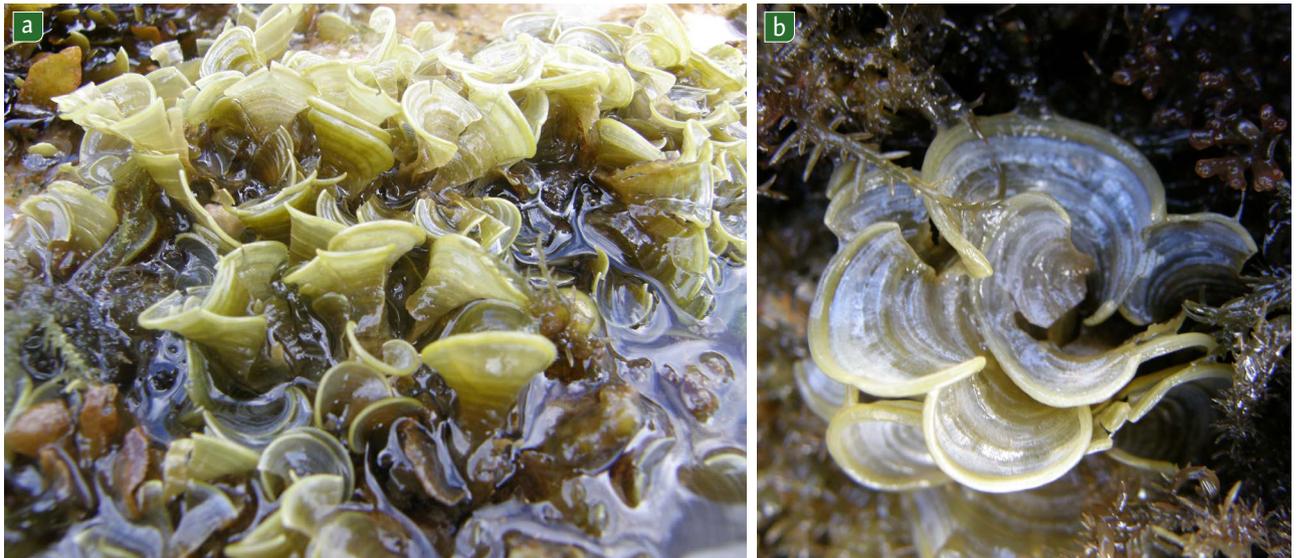
Algas foliáceas expandidas em forma de ventarola, às vezes parcialmente fendidas, com margens enroladas. Textura coriácea, de coloração marrom a marrom-amarelada. Com até 15 cm de altura, são fixas ao substrato por apressório fibroso. Talo achatado. Em vista superficial, observam-se faixas concêntricas onde se localizam as estruturas de reprodução e os pelos. Em corte transversal, o talo é formado por até seis camadas de células medulares, envoltas por uma camada de células corticais.

Habitat: *Padina gymnospora* cresce em quase todos os tipos de ambientes, principalmente em poças de marés e em baías protegidas. A espécie é facilmente reconhecida devido ao aspecto de ventarola com as margens enroladas.

Figura 2.11 *Padina gymnospora*.

(a) Aspecto geral do talo no ambiente.
(b) Talo em forma de ventarola, com as margens enroladas, características do gênero.

Fonte: Edson Vasconcelos.



FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Ulvales

Ulva lactuca Linnaeus

Algas em forma de fitas longas, às vezes ramificadas, de coloração verde brilhante, com textura tenra, com até 40 cm de comprimento e de 2 cm a 5 cm de largura, fixas ao substrato por apressório discoide. Em corte transversal, talo formado por duas camadas de células, mais altas que largas, com cloroplasto parietal e com 1 a 3 pirenídes (pontos brilhantes) por célula. As células da região basal emitem prolongamentos e participam da formação da estrutura de fixação.

Habitat: *Ulva lactuca* cresce na zona superior da região entremarés e forma populações densas em locais afetados pela entrada de esgoto doméstico. As espécies de *Ulva* são conhecidas popularmente como alface do mar, e são consumidas em vários países do mundo, inclusive no Brasil, em forma de salada, na sopa, ou na composição de biscoitos. Porém, é necessário ter atenção antes de consumir, devido ao local onde as espécies são mais abundantes.

Figura 2.12 *Ulva lactuca*. (a) Detalhe do talo em forma de fita longa. (b) Borda recifal onde as espécies estão mais protegidas do pisoteio. Escala = 5 cm. Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Ulvales

Ulva flexuosa Wulfen

Alga totalmente tubular, estreita na base e mais larga nas extremidades, de coloração verde-clara, com textura tenra, com cerca de 10 cm de comprimento e fixa ao substrato por apressório discoide. Ramificação rara, mas, quando presente, somente próxima à base. Em corte transversal, talo formado por uma única camada de células quadráticas, cloroplasto parietal, com 1 a 5 pirenoides por célula, que se destacam como pequenos glóbulos mais brilhantes nas células. Células das porções basais emitem prolongamentos para a formação de estrutura de fixação.

Habitat: *Ulva flexuosa* cresce na zona superior da região entremarés, ficando completamente exposta durante a maré baixa. Essa espécie forma populações densas em locais afetados pela entrada de esgoto doméstico e tolera variações de salinidade. *Ulva flexuosa* é consumida em países orientais, mas no Brasil essa prática não é comum, sobretudo considerando o ambiente onde a espécie ocorre.



Figura 2.13 *Ulva flexuosa* formando cobertura densa sobre o topo recifal.
Fonte: Mutue T. Fujii.

FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Bryopsidales

Bryopsis pennata J. V. Lamouroux

Talo verde escuro, filamentosos, cenocítico (não há formação de parede dividindo as células), de textura flácida, delicada, e com cerca de 8 cm de comprimento, crescendo em tufos densos. Eixos eretos com ramificação oposta, pinada. Pínulas muitas vezes descontínuas, com algumas porções do eixo ereto sem essas. As pínulas apresentam o mesmo tamanho ao longo do eixo ereto, diminuindo seu comprimento apenas no ápice ou não, conferindo um aspecto linear-lanceolado ou pinado ao talo.

Habitat: espécie encontrada em ambientes com intenso pisoteio, tanto no lado protegido quanto exposto ao batimento das ondas. Em 2015, foi registrada floração dessa espécie na praia de Boa Viagem, acumulando grande quantidade de biomassa sobre o recife e nas praias (Figura 2.14).

A espécie apresenta ampla plasticidade fenotípica, e amostras do litoral pernambucano, anteriormente identificadas com base na morfologia como *Bryopsis plumosa* (Hudson) C. Agardh, foram analisadas com dois marcadores moleculares plastidiais (*tufA* e *rbcl*), e consideradas morfotipos abundantemente ramificados nas porções apicais de *B. pennata* (OLIVEIRA *et al.*, 2021).



Figura 2.14 *Bryopsis pennata*. Aspecto geral do “bloom” de espécies de *Bryopsis* ocorrido em 2015, na praia de Boa Viagem, Recife, PE.
Fonte: Juliane Vasconcelos.

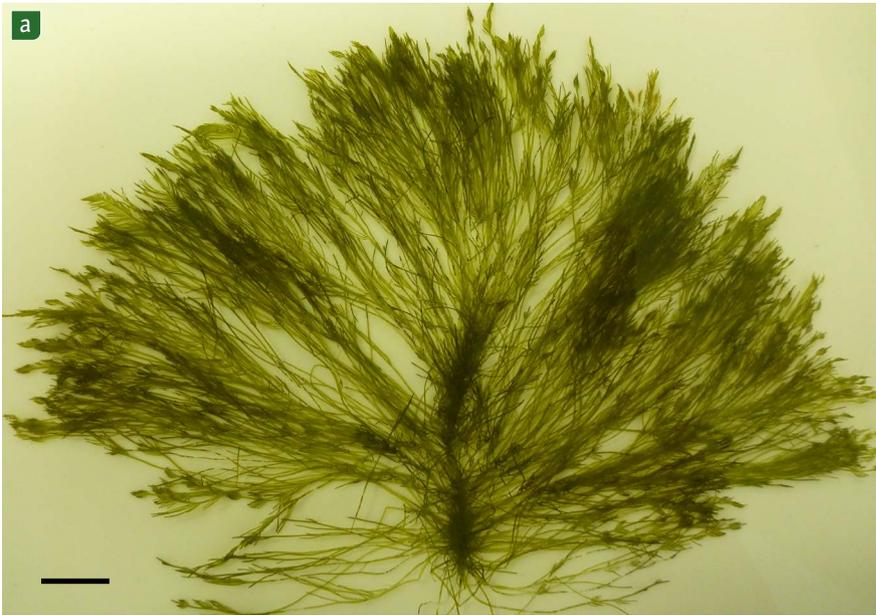


Figura 2.15 *Bryopsis pennata*. (a) Aspecto geral. Escala = 1 cm. (b) Detalhe dos talos. Escala = 0,5 cm.
Fonte: Juliane Vasconcelos.

FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Bryopsidales

Caulerpa fastigiata Montagne

Alga de coloração verde-escuro, com 1 cm a 2 cm de comprimento, formando densos tapetes no platô recifal, que observamos como manchas escuras. Talo cilíndrico, cenocítico (não há formação de parede celular dividindo as células), originado de uma porção estolonífera, morfológicamente semelhante ao eixo ereto. Ramificação dicotômica ou irregular, com ápice dos ramos obtusos.

Habitat: espécie crescendo sobre o substrato em forma de tapetes, acumulando detritos e areias, em locais que não recebem embate direto das ondas. Tolerância a dessecação por períodos prolongados e pisoteio intenso. A espécie é facilmente identificada devido à coloração verde escura formando tapete sobre o topo recifal.

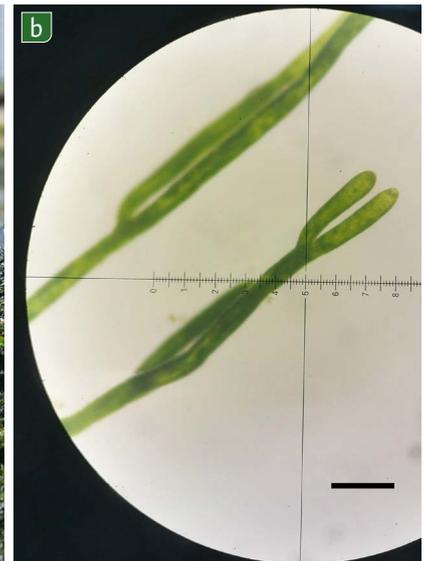
Figura 2.16 *Caulerpa fastigiata*.

(a) Formação de tapete verde escuro sobre recife da praia do Pina.

(b) Detalhe do ápice do ramo obtuso.

Escala = 250 μ m.

Fonte: Juliane Vasconcelos.



FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Bryopsidales

Caulerpa prolifera (Forsskål) J. V. Lamouroux

Alga de coloração verde brilhante, com talo em forma de fita com estipe curto, margem lisa, 15 cm a 20 cm de comprimento e 2 cm a 3 cm de largura, originado de ramos estoloníferos. Esses são cilíndricos, pouco ramificados, e formam rizoides para fixação quando crescem horizontalmente enterrados na areia. Ramificação ausente ou rara, mas há proliferações da porção laminar, conferindo-lhes um aspecto semelhante a ramos.

Habitat: a espécie cresce enterrada na areia de piscinas que se formam durante as marés baixas entre os recifes e o continente. Tufos isolados também são encontrados sobre os recifes, nas partes protegidas das ondas.

Figura 2.17 *Caulerpa prolifera*.

(a) Aspecto geral de uma população durante a maré baixa. (b) Detalhe do talo em forma de fita.

Fonte: Juliane Vasconcelos (a) e Mutue T. Fujii (b).



FILO CHLOROPHYTA

Classe Ulvophyceae

Ordem Bryopsidales

Caulerpa racemosa (Forssål) J. Agardh

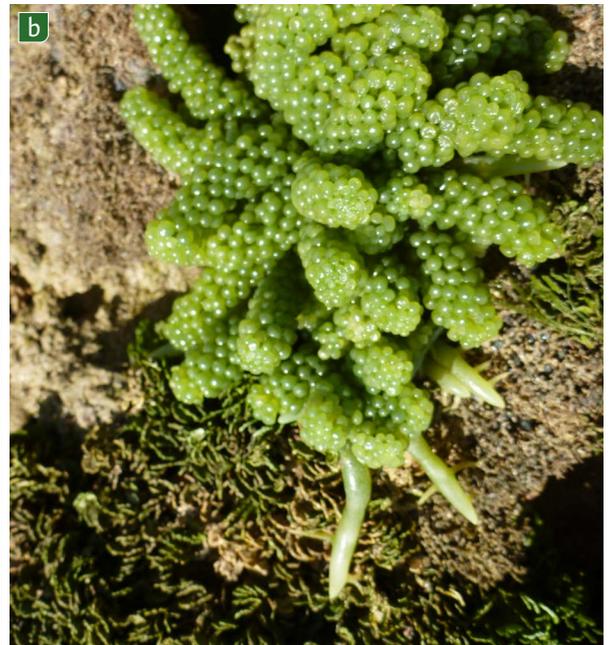
Alga de coloração verde-clara, ereta, com cerca de 10 cm a 12 cm de comprimento, formada por talos com eixos eretos totalmente cobertos por râmulos pedunculados, com ápice dilatado e globoso, conferindo-lhes aspecto semelhante a cacho de uva. Os eixos eretos originam-se de estolões que formam rizoides para se fixarem aos substratos.

Habitat: a espécie é bastante comum nos ambientes recifais, muitas vezes recobrimdo completamente os substratos da borda recifal. Resiste bem ao pisoteio e cresce eficientemente emitindo os estolões (Figura 2.18b).

Figura 2.18 *Caulerpa racemosa*.

(a) Extensa população no topo recifal da zona entremarés inferior.
(b) Detalhe do talo, evidenciando os estolões (seta).

Fonte: Mutue T. Fujii.



REFERÊNCIAS

- ARECES-MALLEA, A. J.; COCENTINO, A. L. M.; REIS, T. N. V.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; GUIMARÃES-BARROS, N. C.; FUJII, M. T. Las Macroalgas como bioindicadoras de calidad ambiental y cambios climáticos. In: NASCIMENTO, E. I.; FUJII, M. T. (Ed.). *Guía práctico. Brazilian Journal of Ecology*, v. 1, p. 64. 2015.
- DÍEZ, I.; SANTOLARIA, A.; SECILLA, A.; GOROSTIAGA, J. M. Recovery stages over long-term monitoring of the intertidal vegetation in the Abra de Bilbao area and on the adjacent coast (N Spain). *European Journal of Phycology*, v. 4, p. 1-14. 2009.
- GUIMARAENS, M. A.; NEVES, V. C. S.; AQUINO, R. E; ALMEIDA, V. C; RIBEIRO, T. D. L. Avaliação da biomassa de macroalgas no platô recifal das praias de Piedade e Porto de galinhas - Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 7, s. 1, p. 19-31. 2014.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 9 ago. 2021.
- HALPERN, B. S. *et al.* A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, v. 319(5865), p. 948-952. 2008.
- MARINHO-SORIANO, E. Filtros vivos para limpar a água. *Ciência Hoje*, v. 37, n. 219, p. 67-69. 2005.
- MENEZES, M. *et al.* Update of the Brazilian floristic list of Algae and Cyanobacteria. *Rodriguésia*, v. 66, p. 1047-1062. 2015.
- MURRAY, S. N.; LITTLER, M. M. Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community. *Journal of Phycology*, v. 14, p. 506-512. 1978.
- OLIVEIRA, M. G. T.; PEREIRA, S. M. B.; BENKO-ISEPPON, A. M.; BALBINO, V. Q.; SILVA JUNIOR, W. J.; XIMENES, C. F.; CARVALHO, M. F.; CASSANO, V. First molecular analysis of the genus *Bryopsis* (Bryopsidales, Chlorophyta) from Brazil, with an emphasis on the Pernambuco coast. *Acta Botanica Brasilica*, v. 35, n. 2, p. 161-178. 2021.
- PIAZZI, L.; CECCHERELLI, G.; CINELLI, F. Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, v. 210, p. 149-159. 2001.
- REIS, T. N. V.; GUIMARÃES-BARROS, N. C.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; COCENTINO, A. L. M.; FUJII, M. T. Influence of the industrial port complex of Suape (Western Tropical Atlantic) on the biodiversity and biomass of Phaeophyceae. *Tropical Oceanography*, v. 39, n. 2, p. 142-154. 2012.

SANTOS, A. A.; COCENTINO, A. M. L.; REIS, T. N. V. Macroalgas como indicadoras da qualidade ambiental da praia de Boa Viagem – Pernambuco, Brasil. *Boletim Técnico-Científico do CEPENE*, v. 14, n. 2, p. 25-33. 2006.

SCHERNER, F.; HORTA, P. A.; OLIVEIRA, E. C.; SIMONASSI, J. C.; HALL-SPENCER, J. M.; CHOW, F.; NUNES, J. C. C.; PEREIRA, S. M. B. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the sw Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, v. 76, p. 106-115. 2013.

SIMÕES, I. P.; GUIMARAENS, M. A.; OLIVEIRA-CARVALHO, M. F.; VADEVINO, J.; PEREIRA, S. M. B. Avaliação florística e sucessão ecológica das macroalgas em recifes na praia de Piedade (PE). *Neotropical Biology and Conservation*, v. 4, p. 49-56. 2009.

SOUZA, G. S.; COCENTINO, A. L. M. Macroalgas como indicadoras da qualidade ambiental da praia de Piedade-PE. *Tropical Oceanography*, v. 32, n. 1, p. 1-22. 2004.

UNEP-WCMC. Marine and coastal ecosystem services: valuation methods and their application. *UNEP-WCMC Biodiversity Series*, v. 33, p. 46. 2011.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; BERNARDI, J.; REIS, T. N. V.; COCENTINO, A. L. M.; MALLEA, A. J. A.; FUJII, M. T. Influência da urbanização no padrão de distribuição vertical das comunidades bentônicas da região entremarés dos recifes de arenito de Pernambuco, Brasil. *Serie Oceanológica*, v. 15, p. 74-88. 2016.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; REIS, T. N. V.; GUIMARÃES-BARROS, N. C.; BERNARDI, J.; ARECES-MALLEA, A. J.; COCENTINO, A. L. M.; FUJII, M. T. Padrão espacial da comunidade de macroalgas de mesolitoral em ambiente recifal do nordeste brasileiro. *Tropical Oceanography*, v. 41, p. 84-92. 2013.

WON, B. Y.; CHO, T. O.; FREDERICQ, S. Morphological and molecular characterization of species of the genus *Centroceras* (Ceramiaceae, Ceramiales), including two new species. *Journal of Phycology*, v. 45, p. 227-250. 2009.

WORM, B.; BARBIER, E. B.; BEAUMONT, N.; DUFFY, J. E.; FOLKE, C.; HALPERN, B. S.; SALA, E. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, v. 314, n. 5800, p. 787-790. 2006.

WYNNE, M. J. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical Western Atlantic: fourth revision. *Nova Hedwigia Beiheft*, v. 145, p. 1-202. 2017.

Macroalgas vermelhas de importância econômica no litoral de Pernambuco

LUANDA P. SOARES / ADILMA L. M. COCENTINO /
NATHALIA C. GUIMARÃES-BARROS / BEATRIZ BRUNELLI / MUTUE T. FUJII

INTRODUÇÃO

As macroalgas marinhas possuem grande importância ecológica como estruturadoras ambientais, permitindo o estabelecimento de uma rica flora e de uma rica fauna associadas, e como produtoras primárias de matéria orgânica, em função da fotossíntese que realizam. Possuem importância econômica principalmente como matéria-prima para produtos industriais que fazem parte do cotidiano humano. Podemos citar a utilização das macroalgas nas indústrias farmacêutica, alimentícia, têxtil e cosmética, mas elas podem ser usadas também na área biológica, como meio de cultura em microbiologia. As macroalgas marinhas representam atualmente os principais organismos utilizados em atividades de maricultura. Em 2016, por exemplo, a produção global de macroalgas marinhas alcançou mais de 30 milhões de toneladas (FAO, 2018).

Em macroalgas vermelhas (filo Rhodophyta), a grande importância econômica se dá pela presença de dois ficocoloides, o ágar e a carragenana, que são polissacarídeos presentes na parede celular dessas algas. O ágar é um ficocoloide insolúvel em água fria e altamente solúvel em água quente, que pode ser extraído, por exemplo, dos gêneros *Gracilaria* Greville, *Gelidium* J. V. Lamouroux e *Pterocladia* Santelices & Hommersand, que são conhecidos também como agarófitas. O ágar é o produto que mais se destaca no mercado mundial, sendo largamente utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica como agente gelificante e espessante (MCHUGH, 2003). A carragenana é outro tipo de ficocoloide que pode ser extraído de algas vermelhas dos gêneros *Kappaphycus* Doty, *Hypnea* J. V. Lamouroux e *Eucheuma* J. Agardh, sendo utilizada particularmente como espessante nas indústrias alimentícias, em sobremesas lácteas, molhos e também em cosméticos.

A produção de algas marinhas para a indústria de ficocoloides é uma atividade altamente lucrativa. Em 2016, atingiu aproximadamente us\$ 440 milhões (FAO, 2018). Algumas algas vermelhas são utilizadas diretamente pelo homem como alimento. O gênero *Pyropia* J. Agardh, por exemplo, popularmente conhecido como *nori*, é utilizado na preparação de *sushis* e *temakis*, bastante conhecidos na culinária oriental. Diversas outras espécies de macroalgas vermelhas, verdes e pardas são utilizadas diretamente como alimento, principalmente em países asiáticos. Apesar da diversidade de algas marinhas, o aproveitamento econômico está concentrado em algumas espécies.



Segundo Chopin (2018), nove gêneros de macroalgas marinhas são responsáveis por cerca de 96% das atividades de maricultura, sendo as algas vermelhas representadas pelos gêneros *Kappaphycus* / *Eucheuma* (40,7%), *Gracilaria* (13,8%) e *Pyropia* (6,8%) (Figura 3.1). Entre essas, *Kappaphycus*, *Gracilaria* e *Pyropia* ocorrem no litoral brasileiro. Entretanto, o cultivo em escala comercial dessas algas ainda é incipiente.

Na região Nordeste, as algas marinhas são exploradas comercialmente entre os litorais do Ceará e da Paraíba, e as principais espécies coletadas pertencem aos gêneros *Gracilaria*, *Gelidium* e *Hypnea* (CARVALHO FILHO, 2004; OLIVEIRA, 1998). Ao longo da década de 1970, a retirada descontrolada das algas dos bancos naturais fez com que as populações de macroalgas fossem drasticamente reduzidas (CÂMARA-NETO, 1987).

Dessa forma, o cultivo passou a ser uma alternativa econômica para as comunidades litorâneas, e também uma opção para a conservação dos bancos naturais. Na região Nordeste, temos algumas iniciativas de sucesso, como as associações de maricultores e produtores de algas no Ceará (Associação dos Produtores de Algas de Flecheiras e Guajiru, APAFG) e no Rio Grande do Norte (Associação das Maricultoras de Rio do Fogo, Amar).

Neste capítulo, serão abordados os principais grupos de macroalgas marinhas vermelhas (Rhodophyta) de importância econômica que ocorrem no litoral de Pernambuco.

Figura 3.1 Principais gêneros de algas vermelhas de importância econômica mundial em atividades de maricultura. (a) Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral de São Paulo. (b) Cultivo de *Gracilaria birdiae* no litoral da Paraíba. (c) População de *Pyropia* no litoral do Rio de Janeiro.

Fonte: Patrícia Araújo (a, b) e Luanda Soares (c).

ALGAS PRODUTORAS DE ÁGAR

Gracilaria Greville

O gênero *Gracilaria* está representado por aproximadamente 200 espécies, amplamente distribuídas nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas (GUIRY; GUIRY, 2022). No Brasil, as espécies de *Gracilaria* estão referidas desde o estado do Maranhão até o Rio Grande do Sul. Contudo, a maior diversidade ocorre no litoral da região Nordeste, onde as espécies formam bancos conspícuos nos recifes de arenito, exercendo um papel ecológico importante nas comunidades marinhas onde ocorrem (Figura 3.2).

Do ponto de vista taxonômico, as algas “gracilarioides” estão entre as espécies mais difíceis de serem identificadas utilizando a taxonomia clássica. A extensa plasticidade fenotípica dificulta o trabalho do taxonomista que se baseia principalmente em características morfológicas. Atualmente, contudo, para uma identificação mais precisa das espécies de *Gracilaria*, é necessária a utilização de marcadores moleculares



Figura 3.2 População de espécimes de *Gracilaria* durante a maré baixa na praia de Boa Viagem, Recife, PE.

Fonte: Mutue T. Fujii.

(GURGEL *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2018). No Brasil, as espécies cilíndricas de *Gracilaria* são a principal fonte para a obtenção de ágar, além de serem a fonte de subsistência de diversas famílias na região Nordeste, especialmente no Ceará e no Rio Grande do Norte. As espécies são beneficiadas por processos sustentáveis e comercializadas em forma de gel, em pó ou simplesmente desidratadas. As algas desidratadas podem ser usadas como alimento ou como agente espessante na indústria alimentícia. Quando comercializadas em forma de pó, podem ser utilizadas, também, como matéria-prima na indústria alimentícia ou como adubo orgânico. Algumas espécies podem ser utilizadas, ainda, em biorremediação, atuando como filtros biológicos no tratamento de resíduos provenientes da aquicultura (MARINHO-SORIANO, 2007). As principais espécies exploradas a partir dos bancos naturais ou de cultivos artesanais são as que apresentam talo cilíndrico, como *Gracilaria birdiae* E. M. Plastino & E. C. Oliveira, *G. caudata* J. Agardh e *G. cornea* J. Agardh. Espécies com talo achatado, como *Gracilaria domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie, também são importantes.

Gracilaria birdiae E. M. Plastino & E. C. Oliveira

Alga com talo vermelho-vináceo a marrom-avermelhado, cilíndrico, formando tufo com até 10,5 cm de comprimento, fixa ao substrato por um pequeno apressório discóide (Figura 3.3). O talo pode atingir até 2 mm de diâmetro, com ramificação esparsa, geralmente subdicotômica, tornando-se irregular em direção ao ápice. Os ramos têm diâmetro uniforme por todo o talo.

Gracilaria birdiae foi descrita originalmente por Plastino e Oliveira (2002) a partir de material coletado na praia de Guajiru, no litoral do Ceará (Figura 3.3). É uma espécie endêmica do Brasil e uma das principais espécies coletadas na região Nordeste para a extração de ficocoloides e o uso na alimentação. Estudos sobre o cultivo de *G. birdiae* foram realizados no litoral do Rio Grande do Norte por Bezerra e Marinho-Soriano (2010) e demonstraram que a espécie pode ser usada na implementação de cultivos em larga escala na região Nordeste. Essa espécie também pode ser usada como biofiltro, por exemplo, em sistemas de aquicultura, na tentativa de remover o excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em fazendas de camarão (MARINHO-SORIANO *et al.*,

Figura 3.3 *Gracilaria birdiae*. Espécime crescendo em ambiente recifal na praia do Rio do Fogo, RN.
Fonte: Mutue T. Fujii.



2009a). No litoral de Pernambuco, Simões (2009) avaliou o crescimento e a qualidade do ágar de *G. birdiae* em cultivo na praia de Pau Amarelo, mostrando grande potencial de cultivo na região. A espécie também é estudada devido aos seus compostos antioxidantes, carotenoides e ácidos graxos essenciais, com potencial nutricional (GUARATINI *et al.*, 2012).

Gracilaria caudata J. Agardh

Alga com talo vermelho-vináceo a marrom-avermelhado, cilíndrico, formando tufos recurvados, com 6,5 cm a 10 cm de comprimento, fixa ao substrato por um pequeno apressório discoide (Figura 3.4). Eixos que variam de 1 mm a 1,5 mm de diâmetro, com ramificação geralmente de unilateral a irregular. O diâmetro dos ramos diminuem em direção ao ápice, alcançando até 0,4 mm.

Gracilaria caudata foi detalhadamente descrita e ilustrada por Plastino e Oliveira (1997). É uma espécie amplamente distribuída no Atlântico ocidental e é muito comum no litoral brasileiro, com ocorrência registrada até o litoral de Santa Catarina. O aspecto recurvado do talo na natureza e os ápices afilados são algumas características que ajudam a distinguir *G. caudata*. Além da sua importância como produtora de ágar, *G. caudata* pode ser usada como biofiltro. De acordo com estudos realizados por Marinho-Soriano e outros (2009b), *G. caudata* é uma espécie eficiente na remoção de nutrientes oriundos de sistemas de aquicultura, especialmente nutrientes nitrogenados. A utilização de *G. caudata* em biorremediação é uma prática ecologicamente correta e pode contribuir para a melhora da qualidade da água nas regiões da costa nordeste do Brasil. Miranda (2010) forneceu subsídios para a recuperação de populações de *G. caudata* no litoral da Paraíba, onde foram drasticamente impactadas pela coleta comercial, o que levou ao declínio dos bancos naturais.



Figura 3.4 População de *Gracilaria caudata* crescendo sobre o recife na praia de Boa Viagem, Recife, PE.
Fonte: Juliane Vasconcelos.

Gracilaria cornea J. Agardh

Alga de talo vermelho-vináceo a marrom-avermelhado, cilíndrico, formando tufos decumbentes (posição horizontal), com até 20 cm de comprimento, fixa ao substrato por um pequeno apressório discoide (Figura 3.5). Os eixos podem variar de 3 mm a 18 mm de diâmetro, com ramificação irregular, geralmente concentrada na metade superior do talo, com numerosas proliferações.

Gracilaria cornea foi descrita a partir de material coletado no litoral de Pernambuco. Além do Brasil, esta espécie também ocorre no México, no Caribe, na Venezuela e na Tanzânia. É uma espécie comum no litoral nordestino, formando tufos que se destacam na borda inferior da região entremarés. No litoral da Bahia, Accioly (2004) demonstrou que *G. cornea* foi a espécie que mostrou maior viabilidade para o cultivo no mar. Coura e outros (2015) analisaram os polissacarídeos sulfatados extraídos de *G. cornea*, como *C. corneus*, envolvidos na atividade anti-inflamatória em roedores.



Figura 3.5 *Gracilaria cornea* (seta). Aspecto geral dos tufos que se destacam entre as outras espécies de macroalgas. Fonte: Mutue T. Fujii.

Gracilaria domingensis (Kützing) Sonder ex Dickie

Alga com talo achatado, róseo-avermelhado, vermelho-vináceo a marrom-esverdeado, formando tufo distintos, alcançando até 40 cm de comprimento, fixa ao substrato por uma base discoide. As lâminas das frondes apresentam até 1 cm de largura, nas porções mais desenvolvidas do talo. A ramificação é pinada, de alterna a subdicotômica, em um único plano. Presença de numerosos ramos dispostos de maneira pinada, ao longo do eixo principal (Figura 3.6).

Figura 3.6 População de *Gracilaria domingensis* (seta) caracterizada pelo talo plano, em associação com espécies de *Gracilaria*, de talo cilíndrico. Fonte: Juliane Vasconcelos.



Espécie comum no litoral pernambucano, com alta biomassa e grande diversidade de formas, sendo encontrada por toda a extensão da região entremarés. Essa espécie é reconhecida por sua atividade antibacteriana e antifúngica (ALMEIDA *et al.*, 2011). Experimentos desenvolvidos por Trigueiro e outros (2017), no litoral do Rio Grande do Norte, demonstraram o potencial de utilização de *G. domingensis* em cultivo multitrófico integrado de camarões. No litoral de Santa Catarina, Yoshimura e colaboradores (2006) mostraram o potencial de cultivo de *G. domingensis* em experimentos associados ao cultivo de mexilhão.

Gelidium J. V. Lamouroux
e *Pterocladia* B. Santelices & Hommersand

A delimitação de Gelidiales em nível genérico ou específico é confusa, e um problema complexo para os ficólogos. As características morfológicas muitas vezes se sobrepõem, e a dificuldade de coletar exemplares férteis na natureza dificulta a identificação precisa dessas algas. No geral, os gêneros *Gelidium* e *Pterocladia* são diferenciados com base no tipo de apressório e nas características do cistocarpo. Espécies de *Gelidium* apresentam apressório formado por um conjunto de filamentos rizoidais que crescem de maneira desorganizada a partir do estolão, conferindo a forma de pincel “brush-like”, e cistocarpos biloculares, salientes, com ostíolos em ambos os lados da fronde. Espécies de *Pterocladia* são caracterizados por apresentarem apressório do tipo “peg-like”, que são filamentos rizoidais originados do estolão, crescendo paralelamente uns aos outros de forma organizada, conferindo um formato de pino, e cistocarpos uniloculares ou com ostíolo em apenas um lado da fronde.

A importância econômica de *Gelidium* é registrada desde meados do século XVII, quando foi verificado que o ágar extraído de *G. amansii* (J. V. Lamouroux) J. V. Lamouroux apresentava propriedades gelificantes (MARINHO-SORIANO, 2017). O ágar extraído de *Gelidium* é utilizado principalmente para fins bacteriológicos, e as populações naturais são a principal fonte de matéria-prima, já que o cultivo de espécies de *Gelidium* parece não ser viável em grande escala (MELO *et al.*, 1991). *Gelidium amansii* e *G. corneum* (Hudson) J. V. Lamouroux são as principais espécies exploradas em diversos

países, como Japão, Coreia do Sul, Espanha, Portugal e Marrocos (SANTOS; MELO, 2018). Atualmente, a exploração de *G. corneum* no Marrocos contribui com 82% da produção mundial. O gênero *Pterocladia* também é um excelente produtor de ágar, porém ele só corresponde a cerca de 3% da produção mundial (MCHUGH, 1991). Entretanto, esse grupo tem sido muito estudado devido à sua alta atividade antioxidante, antiviral e anti-inflamatória. Gracilariales e Gelidiales (incluindo diferentes gêneros e espécies em ambos os táxons) são as principais agarófitas do mundo, produzindo ágar de alta qualidade. No Nordeste brasileiro, as espécies mais representativas de Gelidiales, e facilmente encontradas nos ambientes recifais, são *Gelidium lineare* Iha & Freshwater, que era identificada como *G. coarctatum* Kützinger, e *Pterocladia beachiae* Freshwater.

Gelidium lineare Iha & Freshwater

Alga ereta, cartilaginosa, com talo vermelho-vináceo, formando densos tufos sobre o substrato, com cerca de 12 cm de comprimento. Os espécimes estão fixos ao substrato por uma porção estolonífera cilíndrica de onde surgem os apressórios com formato de pincel. Os ramos eretos são achatados, com ramificação alterna a irregular, produzindo râmulos pinados, com constrições na base.

Gelidium lineare é frequente nas porções inferiores da região entremarés e geralmente cresce nos locais protegidos, tais como fendas e abaixo do dossel de outras algas maiores. Essa espécie era conhecida como *Gelidium coarctatum* (nome mal aplicado) e é bastante comum em todo o Nordeste do Brasil.

A morfologia de *G. lineare* (Figura 3.7) é similar à de outras espécies de Gelidiales, tais como *G. floridanum* W. R. Taylor e *Pterocladia capillacea* (S. G. Gmelin)

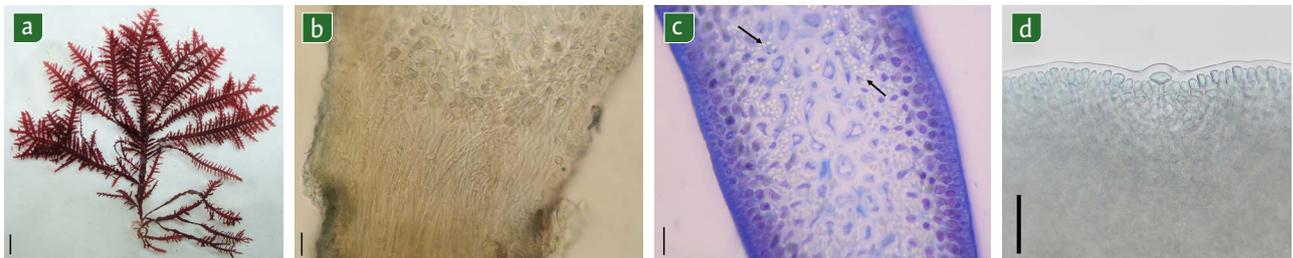


Figura 3.7 *Gelidium lineare*.

(a) Aspecto geral do talo. Escala = 0,5 cm. (b) Detalhe dos filamentos rizoidais desorganizados, característicos de *Gelidium*. Escala = 25 μ m. (c) Corte transversal do talo, mostrando as rizinas (setas). Escala = 25 μ m. (d) Detalhe da região apical do talo, mostrando a célula apical evidente, típico do gênero. Escala = 25 μ m. Fonte: Beatriz Brunelli.

Santelices & Hommersand, podendo também ser confundida com a dessas espécies. Entretanto, Brunelli (2017) demonstrou que a ocorrência de *G. floridanum* e *P. capillacea* está restrita ao litoral sudeste do Brasil. Diversas outras espécies de Gelidiales são exploradas comercialmente para a produção de ágar (WHITE; WILSON, 2015), inclusive *Gelidium crinale* (Hare ex Turner) Gaillon e *Pterocliadiella beachiae*, que também ocorrem na costa de Pernambuco.

Pterocliadiella beachiae Freshwater

Alga ereta, vermelho-vinácea a esverdeada, talo achatado com cerca de 5 cm de comprimento, formando pequenos tufos isolados, firmemente fixos ao substrato

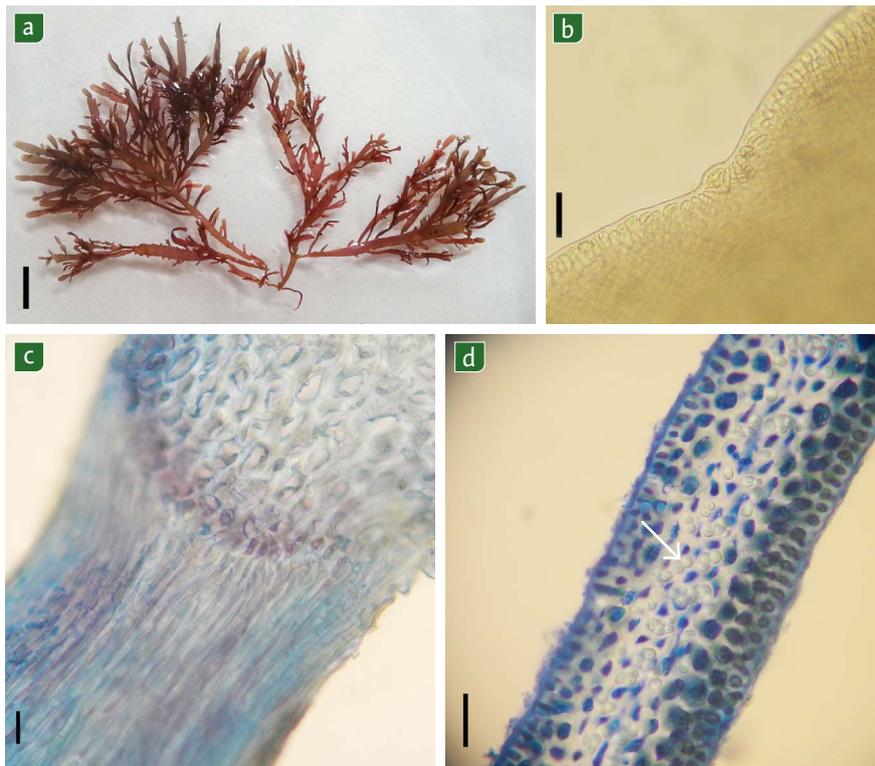


Figura 3.8 *Pterocliadiella beachiae*.
 (a) Aspecto geral. Escala = 0,5 cm.
 (b) Detalhe da região apical mostrando a célula apical evidente. Escala = 25 μ m.
 (c) Corte longitudinal do rizoide, mostrando os filamentos rizoidais uniformemente alinhados. Escala = 25 μ m.
 (d) Corte transversal do talo mostrando as rizines (setas). Escala = 25 μ m.
 Fonte: Beatriz Brunelli.

por apressório do tipo “peg-like”. Ramificação pinada, alterna ou irregular. Em corte transversal do talo, região medular com células arredondadas com rizines espalhadas pela região medular, em todo o talo.

Pterocladia beachiae (Figura 3.8) tem ampla distribuição no Brasil, registrada desde o Ceará até São Paulo, sendo mais abundante no litoral do Nordeste, crescendo na região entremarés. Porém, devido à pequena dimensão do talo e à semelhança com outras espécies de Gelidiales, a identificação taxonômica dessa espécie é uma tarefa difícil.

ALGAS PRODUTORAS DE CARRAGENANA

Hypnea J. V. Lamouroux

Classificado na ordem Gigartinales, família Cystocloniaceae, o gênero *Hypnea* compreende atualmente 63 espécies taxonomicamente aceitas e distribuídas em regiões costeiras tropicais e subtropicais (GUIRY; GUIRY, 2022). As espécies de *Hypnea* têm delimitação taxonômica confusa e problemática, devido a caracteres morfológicos simples e à ocorrência de plasticidade fenotípica, influenciada pelas condições ambientais. A carragenana extraída das espécies do gênero *Hypnea* tem sido utilizada na produção de alimentos aquosos, entre os quais se destacam geleias para sobremesa, geleias para consumo de produtos à base de peixes, sucos de frutas e concentrados em pó, rações para animais, temperos, molhos, sorvetes, achocolatados e muitos outros produtos. Desde a década de 1960, espécies de *Hypnea* são coletadas de bancos naturais no Nordeste do Brasil para extração de carragenana. *Hypnea musciformis* (Wulfen) J. V. Lamouroux, encontrada nos mais diversos mares tropicais e subtropicais do mundo, é uma das grandes produtoras de carragenana, especialmente do tipo “kappa”. No Brasil, entretanto, foi demonstrado, através de estudos moleculares, que a espécie de *Hypnea* mais comumente encontrada corresponde a outro táxon, *Hypnea pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M. C. Oliveira (NAUER *et al.*, 2015).

Hypnea pseudomusciformis Nauer, Cassano & M. C. Oliveira

Alga com talo vináceo, crescendo como epífita ou formando tufos sobre o substrato, com 5 cm a 10 cm de comprimento, fixa ao substrato por um apressório discoide ou por ramos terminais modificados em gavinhas, quando epífitas. O talo é cilíndrico, abundantemente ramificado, com numerosos ramos espinescentes, dispostos de maneira dística ou irregular (Figura 3.9).

Essa espécie pode cobrir grandes extensões dos ambientes recifais, sendo encontrada tanto epilítica (crescendo diretamente sobre o substrato rochoso ou recifal) quanto como epífita de outras algas. *Hypnea pseudomusciformis* foi proposta por Nauer e outros (2015), com base em caracteres morfológicos e moleculares, para acomodar



Figura 3.9 *Hypnea pseudomusciformis* crescendo como epífita sobre outras macroalgas, na praia de Boa Viagem, Recife, PE.

Fonte: Mutue T. Fujii.

espécimes previamente identificados no Brasil como *H. musciformis*, *H. nigrescens* Greville ex J. Agardh e *H. valentiae* (Turner) Montagne. Um novo nome foi designado para as amostras do Brasil porque a verdadeira *H. musciformis*, cuja localidade-tipo é a Itália, é geneticamente diferente das algas que crescem no Brasil.

A carragenana tipo “kappa” (κ -carragenana) é usada pela indústria farmacêutica devido à sua atividade antiviral e anti-inflamatória, e até como relaxante muscular. Outras substâncias de interesse farmacológico, incluindo lectinas com atividade antifúngica contra patógenos humanos, como o fungo causador da candidíase, também foram encontradas em *H. pseudomusciformis* (CORDEIRO *et al.*, 2006). Foi demonstrado também que a carragenana de *H. pseudomusciformis* tem atividade antibacteriana e até anticâncer (SOUZA *et al.*, 2018). Em relação ao cultivo de *H. pseudomusciformis*, experimentos realizados por Neto (2009) na praia de Flecheiras, Ceará, mostraram que a atividade é viável em sistema “long-line”, com excelentes taxas de crescimento. O mesmo foi demonstrado no litoral da Bahia, onde um estudo-piloto conduzido por Wallner e outros (1992) revelou que o cultivo de *Hypnea* poderia ser uma atividade viável na região, com alta produção de biomassa e carragenana. Espécies de *Hypnea* são utilizadas como alimento em países asiáticos, como nas Filipinas e no Vietnã, na forma de geleias, sopas ou saladas.

Entre as algas marinhas produtoras de carragenana, destaca-se também a espécie *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao (ordem Gigartinales), nativa das Filipinas. Devido às altas taxas de produtividade e a técnicas de cultivo bem estabelecidas, *K. alvarezii* já foi introduzida em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo, incluindo o Brasil, e atualmente representa a principal espécie de macroalga cultivada (ARECES, 1995).

No Brasil, *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida em 1995, no litoral de São Paulo, seguindo todos os protocolos legais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), com o objetivo de desenvolver um programa de avaliação de risco ambiental e viabilidade de cultivo (PAULA *et al.*, 2002). Apesar do grande número de introduções, poucos casos de invasão ambiental foram relatados. No Capítulo 6 desta obra é apresentado o resultado da avaliação do risco de introdução de *K. alvarezii* no litoral do Nordeste.

OUTRAS ESPÉCIES DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

As algas marinhas são conhecidas por serem fonte de vitaminas, minerais, proteínas e aminoácidos. O conteúdo de fibras em algumas espécies é muitas vezes maior que em alguns alimentos, como o farelo de trigo (McDERMID *et al.*, 2005). Em vista disso, diversas outras espécies de algas vermelhas também são utilizadas, principalmente em países asiáticos (PEREIRA, 2016; WHITE; WILSON, 2015). Espécies de *Pyropia*, *Laurencia* J. V. Lamouroux, *Gelidium* e *Hypnea*, por exemplo, possuem alto teor de fibras em sua composição (RAPOSO *et al.*, 2016). Na Tabela 3.1 estão listadas algumas espécies com potencial para aproveitamento econômico que ocorrem no litoral de Pernambuco e que são exploradas em outros países tanto para extração de ficoloides, quanto para consumo direto.

TÁXON	UTILIZAÇÃO	LOCAIS
<i>Acanthophora spicifera</i> (M. Vahl) Børgesen	Fonte de carragenana, alimentação (adicionada a sopas ou na forma fresca com limão e vinagre)	Caribe, Índia, China, Indonésia, Filipinas, Vietnã, Tailândia, Taiti
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq	Fonte de carragenana	Marrocos
<i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C. Agardh	Compostos de uso farmacêutico (vermífugo)	Filipinas e, em menor escala, Brasil
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel	Fonte de ágar, alimentação	Índia, Filipinas, Vietnã
<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon	Fonte de ágar	Marrocos
<i>Halymenia</i> spp.	Alimentação <i>in natura</i>	Bangladesh, Filipinas

Tabela 3.1 Espécies de macroalgas que ocorrem no litoral de Pernambuco, com suas formas de utilização em diversas regiões do mundo.

TÁXON	UTILIZAÇÃO	LOCAIS
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K. W. Nam	Alimentação <i>in natura</i>	Filipinas
<i>Solieria filiformis</i> (Kützing) P. W. Gabrielson	Fonte de carragenana	Itália

As algas marinhas são aproveitadas principalmente para a extração dos ficocloides, ágar e carragenanas. Contudo, muitas espécies têm grande potencial biotecnológico para ser explorado. Na região Nordeste, algumas espécies, principalmente de *Gracilaria*, são cultivadas de maneira artesanal servindo de fonte de renda complementar para as comunidades costeiras. Nesse contexto, a grande diversidade da flora de algas marinhas de Pernambuco mostra uma oportunidade para a busca de compostos bioativos e atividades sustentáveis de cultivo, desenvolvendo a economia local e promovendo a restauração dos bancos naturais.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, M. C. *Desenvolvimento da maricultura artesanal de macroalgas no baixo-sul baiano*. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 164 p. 2004.
- ALMEIDA, C. L. F.; FALCÃO, H. S.; LIMA, G. R. M.; MONTENEGRO, C. A.; LIRA, N. S.; ATHAYDE-FILHO, P. F.; RODRIGUES, L. C.; SOUZA, M. F. V.; BARBOSA-FILHO, J. M.; BATISTA, L. M. Bioactivities from marine algae of the genus *Gracilaria*. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 12, p. 4550-4573. 2011.
- ARECES, A. J. Cultivo comercial de carragenofitas del género *Kappaphycus alvarezii* Doty. In: ALVEAL, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA, E. C.; SAR, E. (Ed.). *Manual de métodos ficológicos*. Universidad de Concepción, Chile. p. 529-549. 1995.
- BEZERRA, A. F.; MARINHO-SORIANO, E. Cultivation of the red seaweed *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) in tropical waters of northeast Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, p. 1813-1817. 2010.
- BRUNELLI, B. *Filogeografia de Gelidium floridanum e Pterocladia capillacea (Gelidiales, Rhodophyta) e espécies relacionadas no Atlântico ocidental, com ênfase no Brasil, com base em dados morfológicos e moleculares*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo. 82 p. 2017.

- CÂMARA-NETO, C. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 41, p. 363-367. 1987.
- CARVALHO FILHO, J. Algas uma alternativa para as comunidades costeiras?. *Panorama da Aquicultura*, v. 14, p. 53-56. 2004.
- CHOPIN, T. Seaweeds: the world's largest mariculture crop. *International Aquafeed*, v. 21, p. 14-15. 2018.
- CORDEIRO, R. A.; GOMES, V. M.; CARVALHO, A. F. U.; MELO, V. M. M. Effect of proteins from the red seaweed *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux on the growth of human pathogen yeasts. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 49, p. 915-921. 2006.
- COURA, C. O.; SOUZA, R. B.; RODRIGUES, J. A. G.; VANDERLEI, E. S. O.; ARAÚJO, I. V. F.; RIBEIRO, N. A.; FROTA, A. F.; RIBEIRO, K. A.; CHAVES, H. V.; PEREIRA, K. M. A.; CUNHA, R. M. S.; BEZERRA, M. M.; BENEVIDES, N. M. B. Mechanisms involved in the anti-inflammatory action of a polysulfated fraction from *Gracilaria cornea* in rats. *PLoS ONE*, v. 10, 2015.
- FAO. The global status of seaweed production, trade and utilization. *Globefish Research Programme*, Rome, Italy. v. 124, 120 p. 2018.
- GUARATINI, T.; LOPES, N. P.; MARINHO-SORIANO, E.; COLEPICOLA, P.; PINTO, E. Antioxidant activity and chemical composition of the non-polar fraction of *Gracilaria domingensis* (Kützing) Sonder ex Dickie and *Gracilaria birdiae* (Plastino & Oliveira). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 22, p. 724-729. 2012.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 18 out. 2022.
- GURGEL, C. F. D.; SOARES, L. P.; NORRIS, J.; FUJII, M. T.; SCHMIDT, W.; FREDERICQ, S. Molecular systematics of *Crassiphycus* and *Hydropuntia* (Gracilariales, Rhodophyta) with the description of poorly known taxa in the Western Atlantic Ocean. *European Journal of Phycology*, v. 56, p. 216-229. 2020.
- MARINHO-SORIANO, E. Seaweed biofilters: an environmentally friendly solution. *World Aquaculture*, v. 38, p. 31-33. 2007.
- MARINHO-SORIANO, E. Historical context of commercial exploitation of seaweeds in Brazil. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 665-671. 2017.
- MARINHO-SORIANO, E.; NUNES, S. O.; CARNEIRO, M. A. A.; PEREIRA, D. C. Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, p. 327-331. 2009a.

- MARINHO-SORIANO, E.; PANUCCI, R. A.; CARNEIRO, M. A. A.; PEREIRA, D. C. Evaluation of *Gracilaria caudata* J. Agardh for bioremediation of nutrients from shrimp farming wastewater. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 6192-6198. 2009b.
- MCDERMID, K. J.; STUERCKE, B.; HALEAKALA, O. J. Total dietary fiber content in Hawaiian marine algae. *Botanica Marina*, v. 48, p. 437-440. 2005.
- MCHUGH, D. J. Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. *Hydrobiologia*, v. 221, p. 19-29. 1991.
- MCHUGH, D. J. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper 441. Rome. 105 p. 2003.
- MELO, R. A.; HARGER, B. W. W.; NEUSHUL, M. *Gelidium* cultivation in the sea. *Hydrobiologia*, v. 221, p. 91-106. 1991.
- MIRANDA, G. E. C. *Monitoramento, manejo e restauração de populações de Gracilaria caudata* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales), subsídios ao uso sustentável. Tese de Doutorado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 90 p. 2010.
- NAUER, F.; CASSANO, V.; OLIVEIRA, M. C. Description of *Hypnea pseudomusciformis* sp. nov., a new species based on molecular and morphological analyses, in the context of the *H. musciformis* complex (Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, v. 27, p. 2405-2417. 2015.
- NETO, T. V. *Cultivo da carragenófito Hypnea musciformis (Wulfen) J. V. Lamour. (Gigartinales-Rhodophyta) em estruturas long-line*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 56 p. 2009.
- OLIVEIRA, E. C. The seaweed resources of Brazil. In: CRITCHLEY, A. T.; OHNO, M. (Ed.) *Seaweed resources of the World*. Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, p. 367-371. 1998.
- PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OHNO, M. Growth rate of carragenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Phycological Research*, v. 50, p. 1-9. 2002.
- PEREIRA, L. Edible seaweeds of the world. CRC Press, Boca Raton, p. 463. 2016.
- PLASTINO, E. M.; OLIVEIRA, E. C. *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta) – restoring an old name for a common Western Atlantic alga. *Phycologia*, v. 36, p. 225-232. 1997.
- PLASTINO, E. M.; OLIVEIRA, E. C. *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta), a new species from the tropical South Atlantic with a terete frond and deep spermatangial conceptacles. *Phycologia*, v. 41, p. 389-396. 2002.

- RAPOSO, M. F. J.; MORAIS, A. M. M. B.; MORAIS, R. M. S. C. Emergent sources of prebiotics: Seaweeds and microalgae. *Marine Drugs*, v. 14, p. 27. 2016.
- SANTOS, R.; MELO, R. A. Global shortage of technical agars: back to basics (resource management). *Journal of Applied Phycology*, v. 30, p. 2463-2473. 2018.
- SIMÕES, M. A. *Estudo de cultivo e de biomoléculas da macroalga Gracilaria birdiae (Rhodophyta, Gracilariales)*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Pesca e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 54 p. 2009.
- SOARES, L. P.; GURGEL, C. F. D.; FUJII, M. T. Taxonomic reassessment of *Gracilaria cearensis* (Rhodophyta, Gracilariales), a poorly defined yet common flattened species based on morphological and molecular analysis including topotype collections. *Phytotaxa*, v. 201, p. 241-255. 2015.
- SOARES, L. P.; GURGEL, C. F. D.; FUJII, M. T. *Gracilaria suzanna* sp. nov. (Gracilariales, Rhodophyta), a new flattened species from northeast Brazil based on morphological and molecular evidence. *Phycologia*, v. 57, p. 345-353. 2018.
- SOUZA, R. B.; FROTA, A. F.; SILVA, J.; ALVES, C.; NEUGEBAUER, A. Z.; PINTEUS, S.; RODRIGUES, J. A. G.; CORDEIRO, E. M. S.; ALMEIDA, R. R.; PEDROSA, R.; BENEVIDES, N. M. B. In vitro activities of kappa-carrageenan isolated from red marine alga *Hypnea musciformis*: antimicrobial, anticancer and neuroprotective potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 112, p. 1248-1256. 2018.
- TRIGUEIRO, T. G.; PEREIRA, D. C.; MARTINS, A. P.; COLEPICOLO, P.; MARINHO-SORIANO, E. Cultivation of three-color strains of *Gracilaria domingensis* in an integrated organic system. *International Aquatic Research*, v. 9, p. 225-233. 2017.
- WALLNER, M.; LOBO, S.; BOCCANERA, N.; SILVA, E. M. Biomass, carrageenan yield and reproductive state of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta: Gigartinales) under natural and experimental cultivated condition. *Aquaculture and Fisheries Management*, v. 23, p. 443-451. 1992.
- WHITE, W. L.; WILSON, P. World seaweed utilization. In: TIWARI, B. K.; TROY, D. J. (Ed.) *Seaweed Sustainability: food and non-food applications*. Academic Press, Elsevier, p. 7-25. 2015.
- YOSHIMURA, C. Y.; CUNHA, S. R.; OLIVEIRA, E. C. Testing open-water cultivation techniques to *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales) in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 1290-1293. 2006.

**Espécies do complexo
Laurencia (Ceramiales,
Rhodophyta)
nos estados da Paraíba
e de Pernambuco e seu
potencial biotecnológico**

MUTUE T. FUJII / JULYANA N. FARIAS / LUCIANA R. CARVALHO

INTRODUÇÃO

A linha de pesquisa em biotecnologia de algas no Brasil teve início mais recentemente, como decorrência da consolidação dos trabalhos de taxonomia e de ecologia. Já a exploração de algas teve origem no Nordeste do país, onde comunidades de pescadores recolhiam espécies de rodófitas, principalmente as pertencentes aos gêneros *Gracilaria* Greville e *Hypnea* J. V. Lamouroux, para empresas extratoras de ágar e carragenana, utilizados como espessantes e/ou gelificantes em diversos segmentos industriais (OLIVEIRA; MIRANDA, 1998).

À luz dos conhecimentos adquiridos até o momento, entre as macroalgas marinhas, as espécies pardas e vermelhas são consideradas mais promissoras com relação à produção de substâncias bioativas. Por exemplo, de 15 espécies de macroalgas coletadas em Pernambuco, duas apresentaram importantes atividades: a alga parda *Dictyota mertensii* (Martius) Kützing mostrou ação antileishmaniose cutânea, e a vermelha *Laurencia dendroidea* J. Agardh, atividade larvicida sobre o *Aedes aegypti*, exercida pelo seu metabólito majoritário elatol (BIANCO *et al.*, 2013; KOISHI *et al.*, 2012).

COMPLEXO LAURENCIA

O complexo *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta), assim denominado por incluir oito gêneros e 206 espécies reconhecidas (GUIRY; GUIRY, 2024), é um dos grupos de algas que apresenta maior potencial biotecnológico para a produção de protótipos de fármacos. O estudo dos constituintes químicos produzidos por suas espécies, que tiveram início na década de 1950 (OBOTA; FUKUSHI, 1953), estende-se até os dias atuais e é responsável pelo isolamento de numerosos metabólitos com alto potencial biotecnológico, com possíveis novos agentes terapêuticos a serem utilizados em diversas patologias (MACHADO *et al.*, 2010).

As espécies do complexo *Laurencia* estão amplamente distribuídas ao longo do litoral brasileiro e representam importantes componentes da ficoflora, crescendo em diferentes tipos de habitats (FUJII; SENTÍES, 2005). Nos litorais da Paraíba e de Pernambuco, até o momento, foram referidas sete espécies do complexo *Laurencia*: *L. dendroidea*, *L. oliveirana* Yoneshigue, *L. translucida* Cordeiro-Marino & M. T. Fujii, *Palisada flagellifera* (J. Agardh) K. W. Nam, *P. perforata* (Bory) K. W. Nam, *P. furcata*

(Cordeiro-Marino & M. T. Fujii) Cassano & M. T. Fujii e *Yuzurua poiteaui* (J. V. Lamouroux) Martin-Lescanne var. *gemmifera* (Harvey) M. J. Wynne (COCENTINO, 1994; FUJII *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2002).

Neste capítulo, estão descritas e ilustradas as características morfológicas de cinco espécies do complexo *Laurencia*, duas pertencentes a *Laurencia sensu stricto*, *L. dendroidea* e *L. translucida*, e três a *Palisada*, *P. furcata*, *P. flagellifera* e *P. perforata*.

As espécies desse complexo, especialmente as do gênero *Laurencia*, são profícuas produtoras de metabólitos secundários (ERICKSON, 1983). De acordo com a sua origem biogênica, as espécies desse complexo podem ser divididas em dois tipos: as produtoras de terpenoides, nos quais o sesquiterpeno é o mais abundante, mas em que se encontram diterpenos e triterpenos, também (FERNÁNDEZ *et al.*, 2005). O outro grupo não terpenoide produz acetogeninas derivadas do metabolismo de ácidos graxos, conforme mostrado por Fujii e colaboradores (2011).

As características diagnósticas das espécies foram analisadas sob microscopia de luz, utilizando-se cortes histológicos feitos à mão livre, com lâminas de aço e corados com azul de anilina 1%, acidificado com HCl 1N. As imagens dos caracteres diagnósticos foram obtidas com câmera digital Lumix DMC-FT3 (Panasonic, Japão), e os materiais-testemunhos estão depositados no herbário do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), em São Paulo. Paralelamente, foi realizado o levantamento bibliográfico sobre as substâncias e as atividades metabólicas já descritas para as espécies-alvo.

CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

- 1a. Presença de quatro células pericentraes por segmento axial vegetativo, observáveis em corte transversal da região apical e “*corps en cerise*” (inclusões celulares em formato de rim ou mais arredondados, onde acumulam metabólitos secundários) nas células corticais e nos tricoblastos..... *Laurencia dendroidea*
- 1b. Presença de duas células pericentraes por segmento vegetativo, ausência de “*corps en cerise*” 2
- 2a. Presença de células corticais mais externas translúcidas e, quando a alga está viva, exala odor adocicado, muito característico *Laurencia translucida*
- 2b. Células corticais externas pigmentadas e ausência de odor adocicado 3

- 3a. Células corticais mais externas com ligações secundárias entre elas, observáveis em vista superficial ou em corte transversal do talo *Palisada furcata*
- 3b. Células corticais mais externas sem ligações secundárias 4
- 4a. Alga com os últimos râmulos curtos, em forma de papilas e densamente agrupados no talo *P. perforata*
- 4b. Alga com os últimos râmulos mais longos, esparsamente dispostos, e ausência de râmulos em forma de papilas *P. flagellifera*

Laurencia dendroidea J. Agardh (1852, p. 753)

Localidade-tipo: Brasil

Plantas de hábito ereto formando densos tufos, com até 20 cm de altura, coloração avermelhado-escuro a esverdeada, fixas ao substrato por meio de apressório discoide. Talo cilíndrico, 0,7 cm a 1,25 cm de diâmetro na região mediana. Ramificação alterna-espiralada a irregular, densa desde a base até o ápice, ou com porções basais mais esparsas. Presença de “*corps en cerise*” em número de 2 a 3 em cada célula cortical externa e individualmente nos tricoblastos. Em corte transversal do talo, células corticais arredondadas a longitudinalmente alongadas (27,5 µm a 42,5 µm x 37,5 µm a 50 µm), conectadas entre si por ligações secundárias. Uma camada de células corticais pigmentadas e 5 a 6 camadas de células medulares incolores. A célula axial produz quatro células pericentraes. Tetrásporangios tetraédricos. Não foram observados espécimes gametofíticos.

Material examinado: Paraíba, Conde, praia de Coqueirinho, 12-03-2009, col. M. T. Fujii (SP400759), praia de Carapibus, 11-03-2013, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468861). Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, Enseada dos Corais, 26-10-2011, col. J. N. Farias & T. Reis (SP468883). Serrambi, praia do Toquinho, 17-09-2013, col. M. T. Fujii (SP468862).

Habitat: espécie encontrada formando densas populações na zona entremarés dos recifes de arenito.



Figura 4.1 *Laurencia dendroidea*. (a) Aspecto geral de *L. dendroidea* coletada na praia de Coqueirinho, PB. (b) Corte transversal do talo. (c) Corte transversal do talo, mostrando, em detalhes, a célula axial “a” produzindo quatro células periaxiais “p”, embora apenas três delas estejam no foco. (d) Detalhe das células corticais em corte transversal, mostrando as ligações secundárias (seta).

Fonte: Julyana Farias.

Laurencia translucida M. T. Fujii & Cordeiro-Marino (1996, p. 542-543)

Localidade-tipo: Espírito Santo, Brasil

Plantas de hábito ereto com até 12 cm de altura, coloração avermelhado-escura, brilhante, formando tufos, fixas aos substratos dos ambientes recifais por meio de apressório discoide ou epífitas sobre outras macroalgas. Talo cilíndrico com 300 μm a 875 μm de diâmetro. Ramificação alterna a espiralada com porções apicais densas. Espécimes vivos apresentam coloração brilhante e exalam odor adocicado característico. Ausência de “*corps en cerise*”. Células corticais externas são pequenas (30,4 μm a 50 μm x 21 μm a 31,5 μm), translúcidas, com pouca pigmentação, não apresentando ligações secundárias entre si. Células corticais mais internas maiores, pigmentadas e apresentando ligações secundárias. Célula axial vegetativa produz duas células pericentraais. Não foram observados talos férteis.

Material examinado: Pernambuco, Recife, praia de Boa Viagem, 28-09-2011, col. M. T. Fujii (SP468863). Paraíba, Conde, praia de Coqueirinho, 15-08-2014, col. J. N. Farias (SP468864).

Habitat: espécie encontrada na zona entremarés dos recifes areníticos, geralmente crescendo como epífitas em outras macroalgas, principalmente sobre *Cryptonemia seminervis* (C. Agardh) J. Agardh e *Sargassum* spp.

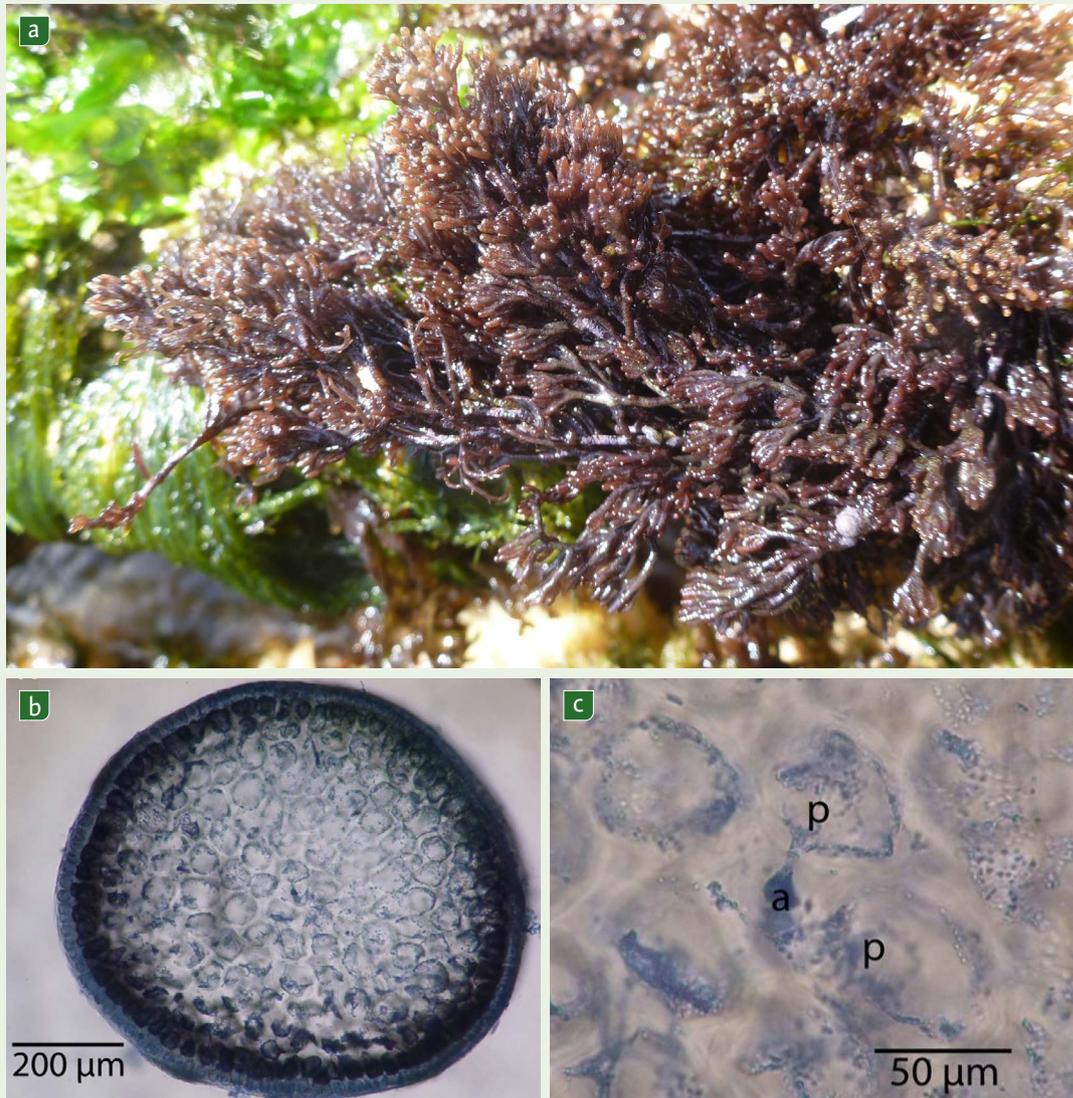


Figura 4.2 *Laurencia translucida*. (a) Aspecto geral da planta. (b) Fotomicrografia do corte transversal do talo com a camada de célula cortical mais externa translúcida. (c) Corte transversal do talo com célula axial “a” formando duas células pericentraes “p”. Fonte: Julyana Farias.

Palisada flagellifera (J. Agardh) K. W. Nam (2007, 54)

Localidade-tipo: Indonésia

Plantas de hábito ereto, com até 20 cm de altura, coloração avermelhado-intensa, comumente formando tufos, fixas ao substrato por meio de apressório discoide. Talo cilíndrico de 1 cm a 1,5 cm de diâmetro, com ramificação alterna a espiralada, presente principalmente nas porções superiores do talo, quando se apresentam mais densas, enquanto nas porções mais basais a ramificação é mais esparsa. Ausência de “*corps en cerise*”. Em corte transversal, células corticais arranjadas como paliçada (26 μ m a 60,5 μ m x 14 μ m a 45 μ m), nunca apresentando ligações secundárias. Segmento axial vegetativo produz duas células pericentrais. Tetrasporângios tetraédricos, radialmente dispostos nos ramos férteis. Não foram observados talos gametofíticos.

Material examinado: Pernambuco, Serrambi, praia de Toquinho, 17-09-2013, col. M. T. Fujii (SP468865). Recife, praia de Boa Viagem, 12-03-2013, col. J. N. Farias (SP468866), Cabo de Santo Agostinho, Enseada dos Corais, 26-10-2011, col. J. N. Farias & T. Reis (SP468884). Paraíba, Conde, praia de Carapibus, 11-03-2013, col. J. N. Farias (SP468867), praia de Coqueirinho, 04-07-2012, col. J. N. Farias (SP468868).

Habitat: Espécie encontrada na zona entremarés dos recifes areníticos.

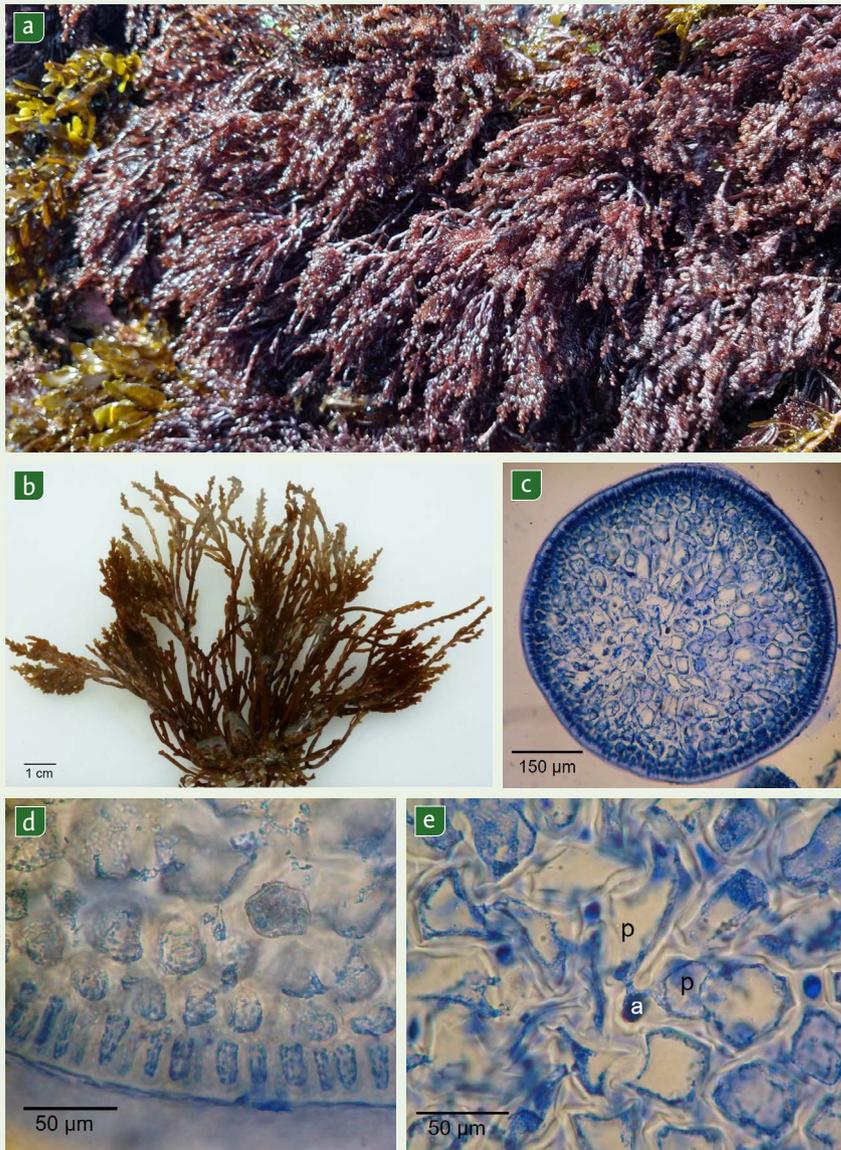


Figura 4.3 *Palisada flagellifera*. (a) Espécimes formando tufo na praia de Toquinho, PE. (b) Aspecto geral da planta. (c) Corte transversal do talo cilíndrico. (d) Detalhe das células corticais arranjadas em paliçada e ausência de ligações secundárias entre elas. (e) Em corte transversal do talo, célula axial “a” produzindo duas células periaxiais “p”.
 Fonte: Julyana Farias.

Palisada furcata (Cordeiro-Marino & M. T. Fujii) Cassano & M. T. Fujii in Cassano *et al.* (2012, p. 79)

Localidade-tipo: praia de Guajirú, Município de Trairi, Ceará, Brasil

Planta ereta formando tufos, com até 10 cm de altura. Coloração avermelhada, consistência rígida, fixa por meio de apressório discoide fortemente aderido ao substrato. Ramificação radial, alterna a irregular. Nas porções apicais do talo, a presença de ramo muito curto entre os dois ramos da bifurcação é bastante característica da espécie. Ausência de “*corps en cerise*”. Em secção transversal, talo levemente comprimido, embora seja mais cilíndrico quando próximo à base (750 μm a 1240 μm em diâmetro). Em vista superficial, células corticais poligonais (28 μm a 40 μm x 13,3 μm a 25 μm), unidas entre si por ligações secundárias. Em corte transversal do talo, células corticais não arrançadas em paliçada, com ligações secundárias esporádicas entre as células. Segmento axial vegetativo produz duas células pericentrais. Tetrasporângios tetraédricos com disposição radial em relação ao eixo central. Não foram observados talos gametofíticos.

Material examinado: Paraíba, Conde, praia de Coqueirinho, 04-07-2012, col. J. N. Farias (SP468872), praia de Carapibus, 11-03-2013, col. J. N. Farias (SP468873). Pernambuco, Recife, praia de Boa Viagem, 14-11-2012, col. T. Reis (SP468871), Cabo de Santo Agostinho, praia de Enseada dos Corais, 27-09-2011, col. M. T. Fujii (SP468870), Ipojuca, praia do Toquinho, 17-09-2013, col. M. T. Fujii (SP468869).

Habitat: espécie encontrada na zona entremarés dos recifes areníticos, formando populações densas no limite entre mediolitoral e infralitoral.

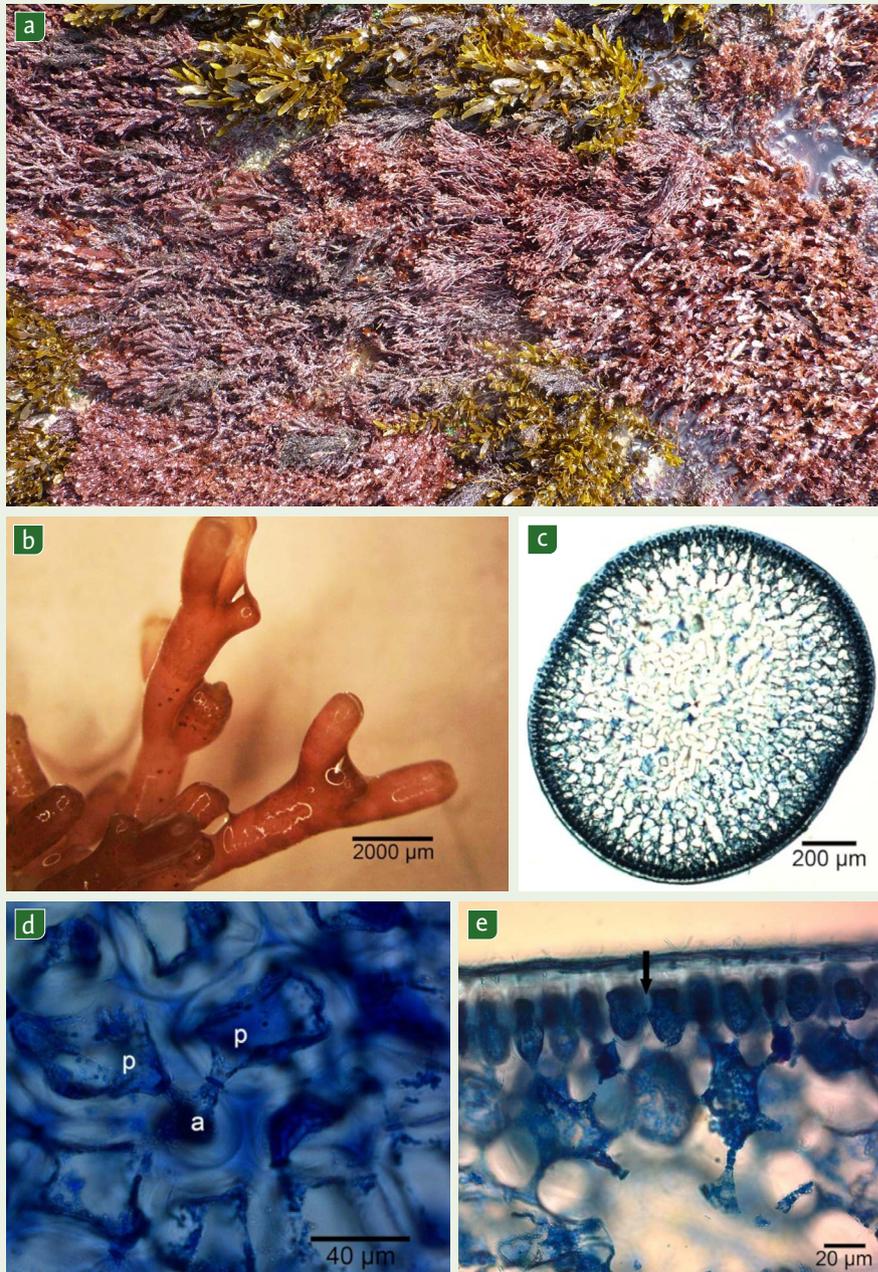


Figura 4.4 *Palisada furcata*. (a) Aspecto geral do talo na praia de Enseada dos Corais, PE. (b) Detalhe da ramificação na região apical do talo, mostrando um râmulo curto entre dois mais longos, característica da espécie. (c) Corte transversal do talo. (d) Corte transversal do talo, mostrando a célula axial “a” com duas células pericentrais “p”. (e) Detalhe das células corticais unidas por meio de ligações secundárias (seta).
Fonte: Julyana Farias.

Palisada perforata (Bory de Saint-Vincent) K. W. Nam (2007, p. 54)

Localidade-tipo: Tenerife, Ilhas Canárias, Espanha

Talo parcialmente ereto, muitas vezes formando tufos de 2 cm a 7 cm de altura, coloração marrom a esverdeada, consistência rígida, fixo por meio de apressório discoide, fortemente aderido ao substrato. Fixação secundária se faz por apressórios originados de ramos prostrados ou decumbentes. Talo cilíndrico (0,7 cm a 1,5 cm em diâmetro) e de consistência rígida. Ramificação densa, alterna a irregular, com râmulos de última ordem curtos, papiliformes. Ausência de “*corps en cerise*”. Em corte transversal do talo, células corticais arranjadas em paliçada (22,5 μ m a 50 μ m x 11,5 μ m a 29 μ m), nunca apresentando ligações secundárias. Talo com até duas camadas de células pigmentadas. Segmento axial vegetativo produz duas células pericentrais. Tetrasporângios tetraédricos, radialmente dispostos no ramo fértil. Não foram observados talos gametofíticos.

Material examinado: Paraíba, Conde, praia de Carapibus, 11-03-2013, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468874), praia de Coqueirinho, 04-07-2012, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468875), praia de Pitimbu, 12-03-2013, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468881). Pernambuco, Recife, praia de Boa Viagem, 12/03/2013, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468877), Cabo de Santo Agostinho, praia de Enseada dos Corais, 26-10-2011, col. J. N. Farias & T. N. Reis (SP468876), Serrambi, praia do Toquinho, 15-03-2013, col. J. N. Farias & M. T. Fujii (SP468878).

Habitat: espécie encontrada na região superior da zona entremarés dos recifes de arenito. É a espécie mais comum na região estudada.

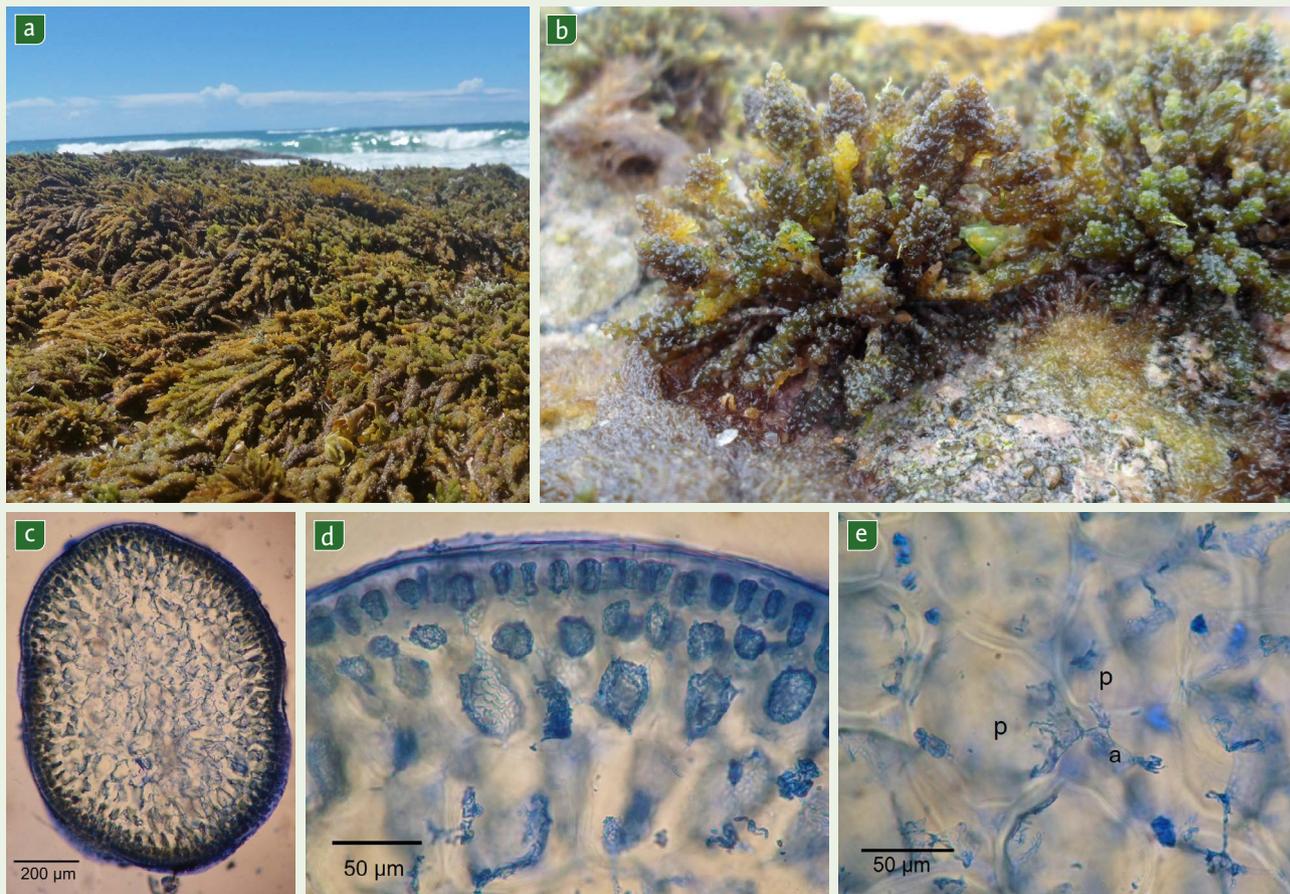


Figura 4.5 *Palisada perforata*. (a) Aspecto geral da população de *P. perforata* na praia de Coqueirinho, PB. (b) Aspecto geral do talo. (c) Corte transversal do talo. (d) Corte transversal do talo, mostrando a disposição das células corticais externas radialmente alongadas a retangulares. (e) Detalhe da célula axial “a” produzindo duas pericentrais “p”.
Fonte: Julyana Farias.

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

No Brasil, a espécie do complexo *Laurencia* mais estudada com relação à produção de substâncias ativas é, sem dúvida, *L. dendroidea*. A espécie tem sido alvo de numerosos estudos (BIANCO *et al.*, 2013; CAMPOS *et al.*, 2012; FUJII *et al.*, 2011; MACHADO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2012; STEIN *et al.*, 2011a, 2011b, 2021; VEIGA-SANTOS *et al.*, 2010).

Diferentes espécies de *Laurencia* têm se apresentado como ricas fontes de produtos naturais, produzindo interessantes metabólitos secundários halogenados bioativos, tais como terpenoides e acetogeninas. Mostra-se que tais compostos são acumulados nas inclusões celulares esféricas ou reniformes, denominadas “*corps en cerise*”, que se localizam, principalmente, nas células corticais e nos tricoblastos (FUJII *et al.*, 2012). Em trabalho inédito, Reis e colaboradores (2013) mostraram o transporte dessas substâncias halogenadas do interior até a superfície do talo.

Existem vários artigos mostrando a ação do elatol sobre os diferentes patógenos, tais como antileishmania, antitripanossoma, anti-herpes e citotóxico frente à melanoma (CAMPOS *et al.*, 2012; MACHADO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2012; STEIN *et al.*, 2021; VEIGA-SANTOS *et al.*, 2010). Obtusanos e triquinano também foram isolados de *L. dendroidea*, demonstrando efeito antileishmania (MACHADO *et al.*, 2011) e anti-herpes (SOARES *et al.*, 2012), e um grupo de sesquiterpenos do tipo chamigrano (entre os quais estão o escopariol e o isorigidol, além de um β -bisaboleno) apresentou moderada atividade anti-helmíntica, frente ao *Nippostrongylus brasiliensis* (DAVYT *et al.*, 2001, 2006).

Stein e colaboradores (2011a) e Bianco e colaboradores (2013) observaram atividades antitumoral (MES-AS) e antibacteriana dos extratos de *L. dendroidea*, frente a *Staphylococcus aureus* e a *Enterococcus faecalis*, respectivamente. Além dos sesquiterpenos, foram isolados dois diterpenos de espécimes de *L. dendroidea* (como *L. majuscula*) do Havaí, os kahukuenos A e B (BRENNAN *et al.*, 1993), porém não existem registros de atividades biológicas exercidas por essas substâncias. Com relação a *L. translucida*, os estudos realizados por Stein e colaboradores (2011a, 2011b) mostraram que seu extrato bruto possui atividades citotóxica e antifúngica.

No que concerne às espécies de *Palisada*, no Brasil, até o presente, não há nenhuma referência quanto à produção de terpenos. A ausência da proteção química contra herbivoria, que essa classe de substâncias pode proporcionar à espécie, parece ser compensada pela existência do mecanismo morfológico de defesa que é a consistência cartilaginosa rígida do talo (FUJII *et al.*, 2011).

Apesar de não atribuírem produção de metabólitos secundários, o extrato bruto de *Palisada flagellifera* apresentou citotoxicidade frente a células de sarcoma uterino (STEIN *et al.*, 2011a) e atividade antileishmania (BIANCO *et al.*, 2013), o que suscita a necessidade de investigações químicas futuras. A partir de estudo químico de seu extrato em diclorometano, foram identificadas as séries de alcanos, álcoois, ácidos carboxílicos aldeídos e o sitosterol (FUJII *et al.*, 2011).

Palisada perforata também não produz terpenos nem acetogeninas. De seu extrato em diclorometano foram isoladas séries de alcanos, aldeídos e o sitosterol (FUJII *et al.*, 2001). Entretanto, seu extrato bruto apresentou efeito antibacteriano (PINHEIRO-VIEIRA; CALAND-NORONHA, 1971) e efeito sobre a coagulação do sangue (AINOUZ *et al.*, 1992), e o extrato em diclorometano/metanol também se mostrou promissor frente ao vírus da dengue (KOISHI *et al.*, 2012).

Terpenos ou acetogeninas também não são sintetizados por *Palisada furcata*. A ausência de terpenos no gênero *Palisada*, associada à excelente adaptação dos espécimes deste táxon ao longo da costa litorânea brasileira, leva a concluir que, se mecanismos químicos de defesa deixam de assumir a função de principal barreira contra a fitofagia, esse papel passa a ser desempenhado, com grande eficiência, por mecanismos morfológicos. Assim sendo, é possível relacionar a consistência rígida do talo com a inexistência de substâncias com ação antifitofágica, que, no complexo *Laurencia*, são representadas por sesquiterpenos (AMSLER, 2012).

Palisada flagellifera e *P. perforata* (como *Chondrophyucus flagelliferus* e *C. papillosus*, respectivamente) são produtoras de grandes quantidades de monossacarídeos xilose e manose, os quais não foram observados em *L. nipponica* Yamada (CARDOSO *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2012). Ao contrário, foram encontrados apenas traços de xilose em *Osmundea pinnatifida* (Hudson) Stackhouse (como *L. pinnatifida*) (USOV; ELASHVILI, 1991).

REFERÊNCIAS

- AGARDH, J. G. *Species genera et ordines algarum, seu descriptiones succinctae specierum, generum et ordinum, quibus algarum regnum constituitur, volumen secundum: algas florideas complectens*. c. w. k. Gleerup, Lund, part 3, fasc. 1, p. 701-786. 1852.
- AINOUZ, L.; SAMPAIO, A. H.; BENEVIDES, N. M. B.; FREITAS, A. L. P.; COSTA, F. H. F.; CARVALHO, M. R.; PINHEIRO-JOVENTINO, F. Agglutination of enzyme treated erythrocytes by Brazilian marine algal extracts. *Botanica Marina*, v. 35, p. 475-480. 1992.
- AMSLER, C. D. Chemical Ecology of Seaweeds. In: WIENCKE, C.; BISCHOF, K.; (Ed.). *Seaweed Biology*. Springer, Berlin, 219, p. 177-188. 2012
- BIANCO, E. M.; OLIVEIRA, S. Q.; RIGOTTO, C.; TONINI, M. L.; GUIMARÃES, T. R.; BITTENCOURT, F.; GOUVÊA, L. P.; ARESI, C.; ALMEIDA, M. T. R.; MORITZ, M. I. G.; MARTINS, C. D. L.; SCHERNER, F.; CARRARO, J. L.; HORTA, P. A.; REGINATTO, F. H.; STEINDEL, M. S.; SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P. Anti-infective potential of marine invertebrates and seaweeds from the Brazilian coast. *Molecules*, v. 18, p. 5761-5778. 2013.
- BRENNAN, M. R.; KIM, I. K.; ERICKSON, K. L. Kahukuenes, new diterpenoids from the marine alga *Laurencia majuscula*. *Journal of Natural Products*, v. 56, p. 76-84. 1993.
- CAMPOS, A.; SOUZA, C. B.; LHULLIER, C.; FALKENBERG, M.; SCHENKEL, E. P.; RIBEIRO-DO-VALLE, R. M.; SIQUEIRA, J. M. Anti-tumour effects of elatol, a marine derivative compound obtained from red alga *Laurencia microcladia*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, v. 64, p. 1146-1154. 2012.
- CARDOSO, M. A.; NOSEDA, M. D.; FUJII, M. T.; ZIBETTI, R. G. M.; DUARTE, M. E. R. Sulfated xylomannans isolated from red seaweeds *Chondrophycus papillosus* and *C. flagelliferus* (Ceramiales) from Brazil. *Carbohydrate Research*, v. 342, p. 2766-2775. 2007.
- CASSANO, V.; METTI, Y.; MILLAR, A. J. K.; GIL-RODRÍGUEZ, M. C.; SENTÍES, A.; DÍAZ-LARREA, J.; OLIVEIRA, M. C.; FUJII, M. T. Redefining the taxonomic status of *Laurencia dendroidea* (Ceramiales, Rhodophyta) from Brazil and the Canary Islands. *European Journal of Phycology*, v. 47, p. 67-81. 2012.
- COCENTINO, A. L. M. *Família Rhodomelaceae (Ceramiales, Rhodophyta) na praia de Serrambi - Ipojuca-PE - Brasil*. Recife. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 193 p. 1994.
- DAVYT, D.; FERNANDEZ, R.; SUESCUN, L.; MOMBRÚ, A. W.; SALDAÑA, J.; DOMÍNGUEZ, L.; COLL, J.; FUJII, M. T. MANTA, E. New sesquiterpene derivatives from the red alga *Laurencia scoparia*. Isolation,

structure determination, and anthelmintic activity. *Journal of Natural Products*, v. 64, p. 1552-1555. 2001.

DAVYT, D.; FERNANDEZ, R.; SUESCUN, L.; MOMBRÚ, A. W.; SALDAÑA, J.; DOMÍNGUEZ, L.; COLL, J.; FUJII, M. T.; MANTA, E. Bisabolanes from the red alga *Laurencia scoparia*. *Journal of Natural Products*, v. 69, p. 1113-1116. 2006.

ERICKSON, K. L. Constituents of *Laurencia*. In: SCHEUER, P. J. (Ed.) *Marine natural products: chemical and biological perspectives*. v. 5. New York: Academic Press, p. 131-257. 1983.

FERNÁNDEZ, J. J.; SOUTO, M. L.; GIL, L. V.; Norte, M. Isolation of naturally occurring dactylomelane metabolites as *Laurencia* constituents. *Tetrahedron*, v. 61, p. 8910-8915. 2005.

FERREIRA, L. G.; NOSEDA, M. D.; GONÇALVES, A. G.; DUCATTI, D. R. B.; FUJII, M. T.; DUARTE, M. E. R. Chemical structure of the complex pyruvylated and sulphated agaran from the red seaweed *Palisada flagellifera* (Ceramiales, Rhodophyta). *Carbohydrate Research*, v. 347, p. 83-94. 2012.

FUJII, M. T.; CORDEIRO-MARINO, M. *Laurencia translucida* sp. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from Brazil. *Phycologia*, v. 35, p. 542-549. 1996.

FUJII, M. T.; SENTÍES, A. Taxonomia do complexo *Laurencia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) do Brasil, com ênfase nas espécies dos Estados de São Paulo e do Espírito Santos. In: SENTÍES, A.; KURT, G.; DRECKMANN (Ed.). *Monografias ficológicas*. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, México, p. 67-135. 2005.

FUJII, M. T.; CASSANO, V.; SENTÍES, A.; DÍAZ-LARREA, J.; MACHÍN-SANCHÉZ, M.; GIL-RODRÍGUEZ, M. C. Comparative analysis of the corps en cerise in several species of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta) from the Atlantic Ocean. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 22, p. 795-804. 2012.

FUJII, M. T.; CASSANO, V.; STEIN, E. M.; CARVALHO, L. R. Overview of the taxonomy and of the major secondary metabolites and their biological activities related to human health of the *Laurencia* complex (Ceramiales, Rhodophyta) from Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, p. 268-282. 2011.

GUIRY, M. D. AlgaeBase. 9 out. 2018. In: GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algae-base.org>. Acesso em: 8 jan. 2024.

KOISHI, A. C.; ZANELLO, P. R.; BIANCO, E. M.; BORDIGNON, J.; SANTOS, C. N. D. Screening of dengue virus antiviral activity of marine seaweeds by an in situ enzyme-linked immunosorbent assay. *Plos One*, v. 7, 2012.

- MACHADO, F. L. S.; KAISER, C. R.; COSTA, S. S.; GESTINARI, L. M.; SOARES, A. R. Atividade biológica de metabólitos secundários de algas marinhas do gênero *Laurencia*. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 20, p. 441-452. 2010.
- MACHADO, F. L. S.; PACIENZA-LIMA, W.; ROSSI-BERGMANN, B.; GESTINARI, L. M. S.; FUJII, M. T.; DE PAULA, J. C.; COSTA, S. S.; LOPES, N. P.; KAISER, C. R.; SOARES, A. R. Antileishmanial sesquiterpenes from the Brazilian red alga *Laurencia dendroidea*. *Planta Medica*, v. 77, p. 733-735. 2011.
- NAM, K.W. Validation of the generic name *Palisada* (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *Algae*, v. 22, p. 53-55. 2007.
- OBOTA, Y.; FUKUSHI, S. Studies on the components of the essential oil in a red algae, *Laurencia glandulifera*. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan*, v. 27, p. 331-334. 1953.
- OLIVEIRA, E. C.; MIRANDA, G. E. C. Aspectos sociais e econômicos da exportação de algas marinhas do Brasil. In: PAULA, E. J. et al. (Ed.). *Anais do IV Congresso Latino Americano, II Reunião Líbero-Americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia*. p. 149-156. 1998.
- PEREIRA, S. M. B.; CARVALHO, M. F. O.; ANGEIRAS, J. A.; PEDROSA, M. E. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; TORRES, J.; GESTINARI, L. M. S.; COCENTINO, A. L. M.; SANTOS, M. D.; NASCIMENTO, P. R. F.; CAVALCANTI, D. R. Algas marinhas bentônicas do estado de Pernambuco. In: TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed.). *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco*. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2002.
- PINHEIRO-VIEIRA, F.; CALAND-NORONHA, M. C. Atividade antibiótica de algumas algas marinhas do estado do Ceará. *Arquivo de Ciências do Mar*, v. 11, p. 91-93. 1971.
- REIS, V. M.; OLIVEIRA, L. S.; PASSOS, R. M. F.; VIANA, N. B.; MERMELSTEIN, C. S.; SANT'ANNA, C.; PEREIRA, R. C.; PARADAS, W. C.; THOMPSON, F. L.; AMADO-FILHO, G. M.; SALGADO, L. T. Traffic of secondary metabolites to cell surface in the red alga *Laurencia dendroidea* depends on a two-step transport by the cytoskeleton. *Plos One*, v. 8, 2013.
- SANTOS, A. O.; VEIGA-SANTOS, P.; UEDA-NAKAMURA, T.; DIAS-FILHO, B. P.; SUDATTI, D. B.; BIANCO, E. M.; PEREIRA, R. C.; NAKAMURA, C. V. Effect of elatol, isolated from red seaweed *Laurencia dendroidea* on *Leishmania amazonensis*. *Marine Drugs*, v. 8, p. 2733-2743. 2010.
- SOARES, A. R.; ROBAINA, M.; MENDES, G. S.; SILVA, T. S. L.; GESTINARI, L. M. S.; PAMPLONA, O. S.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y.; KAISER, C. R.; ROMANOS, M. T. Antiviral activity of extracts from Brazilian seaweeds against herpes simplex virus. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 22, p. 714-723. 2012.

STEIN, E. M.; ANDREGUETTI, D. X.; ROCHA, C. S.; FUJII, M. T.; BAPTISTA, M. S.; COLEPICOLO, P.; INDIG, G. L. Search for cytotoxic agents in multiple *Laurencia* complex seaweed species (Ceramiales, Rhodophyta) harvested from the Atlantic Ocean zone that bates the Brazilian State of Espírito Santo. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, p. 239-243. 2011a.

STEIN, E. M.; COLEPICOLO, P.; AFONSO, F. A. K.; FUJII, M. T. Screening for antifungal activities of extracts from Brazilian seaweed genus *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, p. 290-295. 2011b.

STEIN, E. M.; TAJÚ, S. G.; MIYASATO, P. A.; FREITAS, R. P. DE; COLEPICOLO, P.; TALLARICO, L. F.; SANTOS, G. S.; LUIZ, G. L. F.; ROFATTO, H. K.; SILVA, F. N. V.; MACEDO, A. L.; CAROLLO, C. A.; NAKANO, E. The prospective use of Brazilian marine macroalgae in Schistosomiasis control. *Marine Drugs*, v. 19, p. 234. 2021.

USOV, A. I.; ELASHVILI, M. Y. Polysaccharides of Algae. 44. Investigation of Sulfated Galactan from *Laurencia nipponica* Yamada (Rhodophyta, Rhodomelaceae) using partial reductive hydrolysis. *Botanica Marina*, v. 34, p. 553-560. 1991.

VEIGA-SANTOS, P.; PELIZZARO-ROCHA, K. J.; SANTOS, A. O.; UEDA-NAKAMURA, T.; DIAS FILHO, B. P.; SILVA, S. O.; SUDATTI, D. B.; BIANCO, E. M.; PEREIRA, R. C.; NAKAMURA, C. V. In vitro anti-trypanosomal activity of elatol isolated from red seaweed *Laurencia dendroidea*. *Parasitology*, v. 137, p. 1661-1670. 2010.

Macroalgas produtoras de substâncias antioxidantes

JULIANE B. VASCONCELOS / EDSON R. T. P. P. VASCONCELOS /
FUNGYI CHOW / MUTUE T. FUJII

PROTEÇÃO CONTRA O ESTRESSE OXIDATIVO

A radiação solar é essencial para a vida na Terra. No entanto, um aumento na radiação ultravioleta (UV) pode inibir diversos processos biológicos, como o crescimento e a reprodução (KARSTEN, 2008). Nos ecossistemas aquáticos, a radiação UV pode induzir a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO), as quais são extremamente tóxicas para as células, por causarem danos oxidativos em todas as moléculas (SIES, 1991).

A região entremarés dos oceanos abriga grande diversidade de organismos, os quais devem lidar com um ambiente em constante mudança, com flutuações de luz e de oxigênio (BLANCHETTE, 1997). Além da radiação UV, outros fatores estressantes, como elevadas temperaturas, dessecação e exposição ao ar, também afetam os organismos que habitam esse local. Em regiões tropicais, como o Nordeste do Brasil, essas condições podem ser intensificadas devido à posição geográfica.

Recifes tropicais são ambientes altamente diversos, situados em regiões de elevado hidrodinamismo. Nesses recifes, as macroalgas marinhas são comumente encontradas na zona entremarés, ficando expostas durante as marés baixas e submersas no restante do tempo. Como as macroalgas são sésseis, elas estão expostas a diversos fatores estressantes (Figura 5.1) nos ambientes recifais (PAUL; PUGLISI, 2004). Esses fatores estressantes podem induzir a formação de EROS (GUARATINI *et al.*, 2007; SIES, 1991).

Figura 5.1 Diagrama conceitual, modificado de Le Lann (2012), relacionando os fatores bióticos e abióticos que afetam a produção de antioxidantes em algas de acordo com a literatura (ABDALA-DÍAZ *et al.*, 2006; BROCK *et al.*, 2001; FAIRHEAD *et al.*, 2006; PLOUGUERNÉ *et al.*, 2006; STIGER *et al.*, 2004; SVENSSON *et al.*, 2007; TARGETT *et al.*, 1992).

Fonte: Juliane Vasconcelos.



Dessa forma, as algas desenvolveram um complexo sistema de defesa contra as EROS (ASADA, 1994), produzindo pigmentos (FUJIMOTO; KANEDA, 1980, JACOBSEN *et al.*, 2019), enzimas (AHN *et al.*, 2004, FERNANDO *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2019; WIJESINGHE; JEON, 2012), aminoácidos do tipo micosporinas (MAAs) (ANDREGUETTI *et al.*, 2013; DUNLAP; YAMAMOTO, 1995; TORRES *et al.*, 2018) e outras substâncias antioxidantes (GUAJARDO *et al.*, 2016; HARTMANN, 2007; ROCHA *et al.*, 2007; VERPOORTE, 2000).

Estudos prévios já demonstraram que as macroalgas marinhas de ambientes tropicais produzem substâncias com ação antioxidante (LI *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2012; VASCONCELOS *et al.*, 2017, VASCONCELOS *et al.*, 2019; ZUBIA *et al.*, 2007). A definição mais aceita para antioxidantes é a de que seriam substâncias que, mesmo presentes em baixas concentrações em relação ao substrato oxidante, poderiam atrasar ou inibir as taxas de oxidação (SIES, 1993). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), antioxidante é a substância que bloqueia o efeito danoso dos radicais livres, impedindo a oxidação de outras substâncias químicas (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009).

A utilização de antioxidantes sintéticos é regulamentada mundialmente pela Food and Agriculture Organization (FAO) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e, no Brasil, a Anvisa limita os teores de antioxidantes sintéticos nos alimentos a 0,01% de butil-hidroxitolueno (BHT) ou propil galato (PG), e a 0,02% de butil-hidroxianisol (BHA) ou terc-butil hidroquinona (TBHQ), calculados sobre o teor de gordura (ANVISA, 2012). Devido aos efeitos tóxicos e carcinogênicos causados por essas substâncias, a busca por antioxidantes naturais ganhou considerável atenção na última década, aliada à busca cada vez maior por alimentos naturais funcionais. Dessa forma, tem aumentado a pesquisa por produtos naturais, sendo as algas marinhas uma das fontes mais ricas em antioxidantes (NGO *et al.*, 2011).

Vários compostos produzidos pelas macroalgas são conhecidos por atuarem como antioxidantes, prevenindo o estresse oxidativo, como carotenoides, aminoácidos do tipo micosporinas e compostos fenólicos, entre outros.

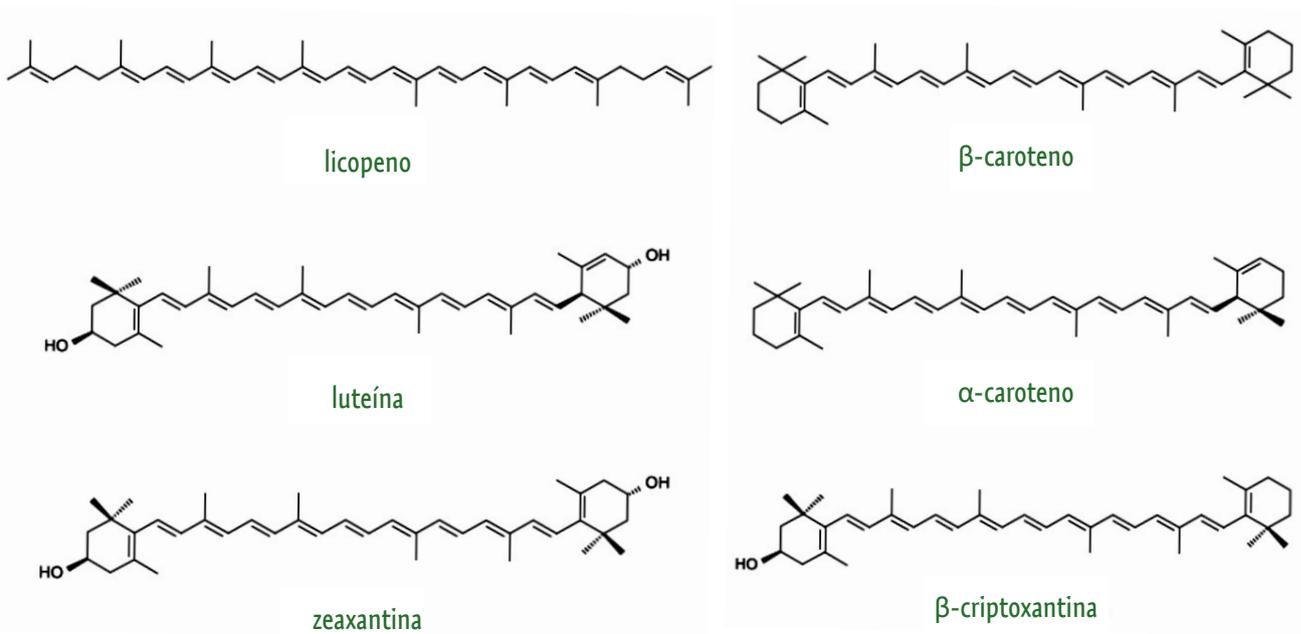
SUBSTÂNCIAS ANTIOXIDANTES

CAROTENOIDES

Carotenoides são pigmentos naturais derivados de unidades de isopreno de quatro carbonos, que são polimerizados enzimaticamente para formar estruturas de 40 carbonos altamente conjugadas (com até 15 duplas ligações conjugadas). São constituintes essenciais do aparato fotossintético, primariamente nos centros de reação dos fotossistemas onde atuam: (i) como pigmento acessório para o processo de absorção de luz durante a fotossíntese, (ii) como estabilizantes estruturais na montagem de proteína nos fotossistemas, e (iii) como inibidores de fotoxidação e oxidação por radicais livres provocadas por excesso de exposição à luz (ZHANG *et al.*, 1995). A Figura 5.2 mostra os principais carotenoides encontrados em algas.

Figura 5.2 Principais carotenoides considerados importantes para a saúde humana.

Fonte: Rodrigues-Amaya e outros (2008).



As propriedades antioxidantes dos carotenoides das algas desempenham importante papel na prevenção de patologias humanas relacionadas ao estresse oxidativo (JASWIR *et al.*, 2011; OJULARI *et al.*, 2020; OKUZUMI *et al.*, 1993; YAN *et al.*, 1999), como câncer, disfunções cardiovasculares e enfermidades degenerativas (ALMEIDA *et al.*, 2020; HOSOKAWA *et al.*, 1999; KHALID *et al.*, 2018; MASCHEK; BAKER, 2008).

AMINOÁCIDOS DO TIPO MICOSPORINAS (MAAs)

Aminoácidos do tipo micosporinas (MAAs) são uma família de compostos intracelulares envolvidos na proteção de organismos aquáticos contra a radiação solar. São caracterizados por um ciclohexano ou cromóforo ciclohexanimina, conjugado com um ou dois aminoácidos, que apresentam absorção máxima entre 310 nm e 360 nm (NAKAMURA *et al.*, 1982). Estão presentes em vários organismos marinhos e de água doce (BANDARANAYAKE, 1998; GRÖNIGER *et al.*, 2000; REZANKA *et al.*, 2004; SHICK; DUNLAP, 2002). Essas substâncias fotoprotetoras bloqueiam a radiação e atuam como antioxidantes.

Entre os grupos de macroalgas, os MAAs são encontrados principalmente nas algas vermelhas (BEDOUX *et al.*, 2020; CARRETO *et al.*, 2005; COTAS *et al.*, 2020; KARSTEN, 2008; YUAN *et al.*, 2009). Além de atuarem como protetores solares em organismos aquáticos, sugere-se que alguns MAAs podem agir como antioxidantes (ANDREGUETTI *et al.*, 2003; DUNLAP; YAMAMOTO, 1995; KUMAR *et al.*, 2014), promovendo proteção contra o estresse oxidativo causado pelas EROS. Um grande número de produtos para cuidados com a pele usando MAAs está sendo testado, devido à sua eficiência em atuar como um bloqueador de radiação UV natural, razão pela qual têm sido muito empregados em protetores solares (CARDOZO *et al.*, 2007).

Aproximadamente 20 MAAs foram identificados, e algumas dessas estruturas são mostradas na Figura 5.3 (CARDOZO *et al.*, 2006; CARRETO *et al.*, 2005; KARENTZ, 2001).

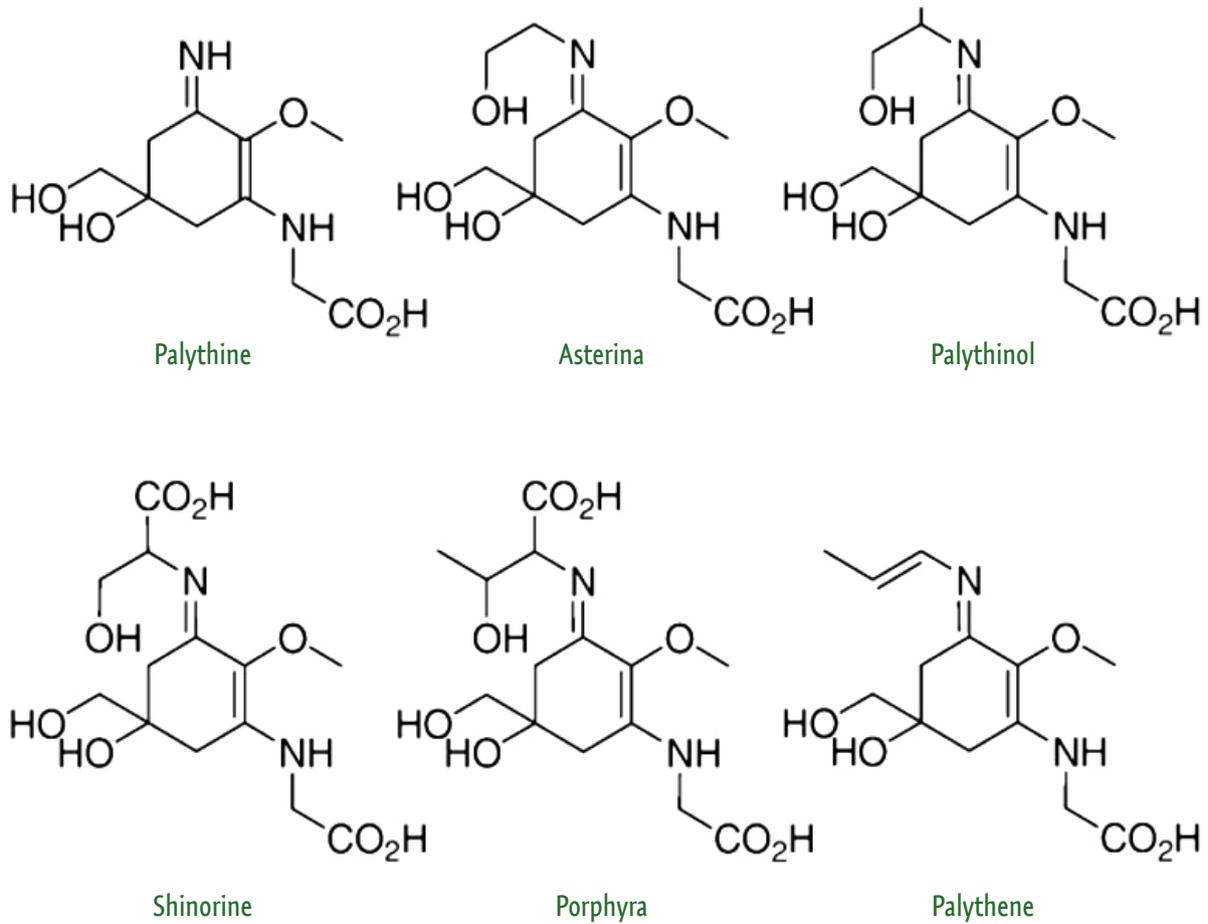


Figura 5.3 Estruturas moleculares de aminoácidos do tipo microsporinas, comuns em algas.

Fonte: Cardozo e outros (2007).

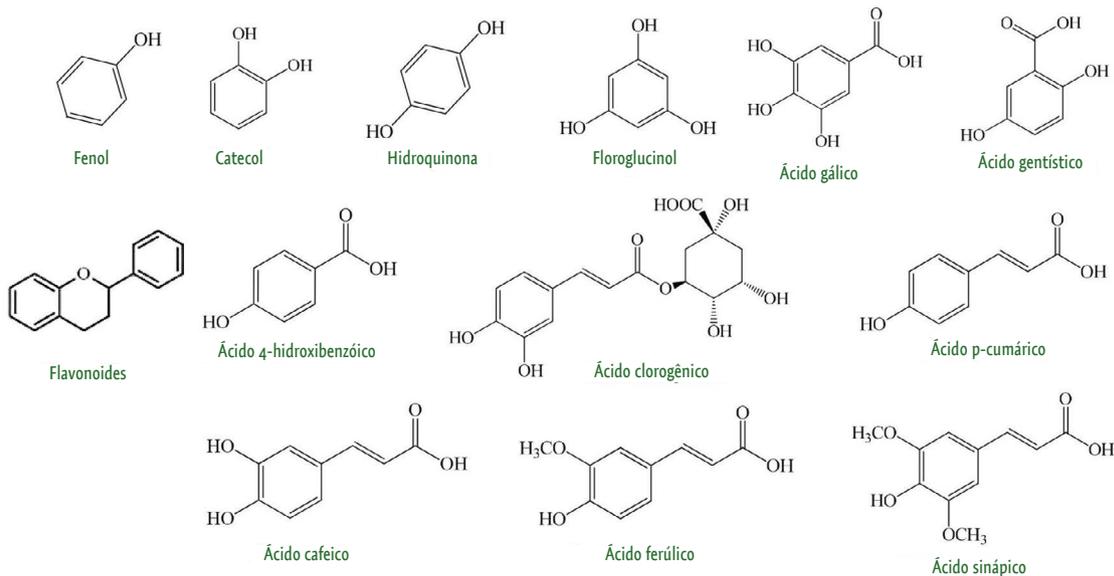
COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são os principais responsáveis pela atividade antioxidante em plantas (HAYASE; KATO, 1984), e nas algas marinhas estão envolvidos principalmente na proteção contra a radiação UV, na defesa anti-herbivoria, na resistência a patógenos e na defesa contra o crescimento de epífitas (AMSLER; FAIRHEAD, 2006).

Os compostos fenólicos possuem uma ampla gama de bioatividades, com propriedades antidiabética, anti-inflamatória, antimicrobiana, antiviral, antialérgica, antioxidante, anticâncer, entre outras, o que torna as macroalgas candidatas para o desenvolvimento de produtos ou de ingredientes usados em aplicações industriais. Nesse sentido, Cotas e outros (2020) compilaram as diversas aplicações e os diversos métodos de extração dos compostos fenólicos produzidos pelas macroalgas em uma abrangente revisão bibliográfica.

Florotaninos são uma classe de compostos polifenólicos que representam metabólitos secundários encontrados exclusivamente em macroalgas pardas (RAGAN; GOLOMBITZA, 1986). Os florotaninos absorvem a radiação UV (RAGAN; GOLOMBITZA, 1986; PAVIA *et al.*, 1997) e possuem elevada atividade antioxidante, sendo considerados eficientes compostos fotoprotetores. Os principais compostos fenólicos são apresentados na Figura 5.4.

Figura 5.4 Exemplos de compostos fenólicos encontrados na natureza. Fonte: modificado de Lopez e outros (2001).



MACROALGAS MARINHAS PRODUTORAS DE ANTIOXIDANTES

O interesse inicial pelo estudo de substâncias com atividade antioxidante em algas surgiu no Japão, na busca por novos aditivos para alimentos, em substituição àqueles antioxidantes sintéticos já utilizados, como o hidroxianisol butilado (BHA) e o hidroxitolueno butilado (BHT), os quais mostravam efeitos carcinogênicos, além de alterações enzimáticas e lipídicas, em animais. O fato de que algumas algas secas podem ser estocadas por um longo período sem o perigo de deterioração oxidativa, mesmo apresentando mais de 30% do total de seus ácidos graxos na forma de cadeias poli-insaturadas (principalmente as algas pardas), despertou o interesse dos pesquisadores em relação ao mecanismo antioxidante presente nessas algas (FUJIMOTO; KANEDA, 1980).

Constam na literatura vários trabalhos de busca de substâncias com atividade antioxidante em algas, porém, no Brasil, esse campo de pesquisa ainda não foi devidamente explorado, apesar da riqueza da nossa flora ficológica marinha. As palavras-chave “*antioxidant*”, “*seaweed*” e “Brazil” foram empregadas na busca no Google Acadêmico por trabalhos realizados com macroalgas produtoras de antioxidantes no Brasil. Os resultados das principais pesquisas estão compilados na Tabela 5.1. Entre os resultados compilados, foram encontradas 9 espécies do filo Chlorophyta, 10 espécies da classe Phaeophyceae e 22 espécies do filo Rhodophyta com atividade antioxidante.

Os métodos utilizados para avaliar a atividade antioxidante *in vitro* de macroalgas são muitos, devido às diferenças nos mecanismos de ação dos antioxidantes (FRANKEL; MEYER, 2000). Podem ser citados, entre eles: ensaio de inibição do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), inibição do radical ABTS (2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), poder quelante do ferro, redução do radical superóxido, ensaio β -caroteno-ácido linoleico, inibição da peroxidação do ácido linoleico em emulsão, ensaio Folin-Ciocalteu, FRAP (poder antioxidante de redução do ferro), ORAC (capacidade de absorção dos radicais oxigenados), entre outros. Maiores informações sobre os métodos de análise de antioxidantes podem ser encontradas em Badarinath e outros (2010), Alam e outros (2013), Rodríguez-Bonilla e outros (2017).

ESPÉCIES	LOCAL	MÉTODO	RESULTADOS	REFERÊNCIA
<i>Enteromorpha intestinalis</i> e <i>Chaetomorpha anteninna</i>	Santa Catarina	Inibição da peroxidação do ácido linoleico em emulsão	Porcentagens de inibição acima de 70%	Raymundo e outros (2004)
<i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Caulerpa sertularioides</i> , <i>Canistrocarpus cervicornis</i> , <i>Dictyota mertensis</i> e <i>Gracilaria caudata</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do ferro	69,9%, 57,8%, 46,1%, 43,3% e 40,2%, respectivamente, de poder quelante na concentração de 2 mg.mL ⁻¹ e de 1,5 mg.mL ⁻¹ para <i>C. caudatus</i>	Costa e outros (2010)
<i>Laurencia dendroidea</i>	Espírito Santo	DPPH	30,3% de inibição do composto isolado na concentração 500 µg. mL ⁻¹	Gressler e outros (2011)
<i>Gracilaria birdiae</i> e <i>Gracilaria cornea</i>	Ceará	Ensaio β-caroteno-ácido linoleico	Inibição superior a 40% da oxidação do β-caroteno. Identificação de dois antioxidantes: apigenina e ácido gálico	Souza e outros (2011)
<i>Dictyopteris delicatula</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do ferro	45,5% de poder quelante na concentração de 1,5 mg.mL ⁻¹	Magalhães e outros (2011)

Tabela 5.1 Espécies de macroalgas do Brasil com atividade antioxidante.

ESPÉCIES	LOCAL	MÉTODO	RESULTADOS	REFERÊNCIA
<i>Sargassum filipendula</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do ferro	54,8% de poder quelante na concentração de 2 mg. mL ⁻¹	Costa e outros (2011)
<i>Canistrocarpus cervicornis</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do ferro	47% de poder quelante na concentração de 2 mg. mL ⁻¹	Camara e outros (2011)
<i>Lobophora variegata</i>	Rio Grande do Norte	Redução do radical superóxido	94% de redução na concentração de 2,5 mg.mL ⁻¹	Paiva e outros (2011)
<i>Gracilaria domingensis</i> e <i>Gracilaria birdiae</i>	Rio Grande do Norte	DPPH	<i>G. birdiae</i> obteve os melhores resultados. As frações hexânicas requereram 0,6 mg mL ⁻¹ e 0,8 mg. mL ⁻¹ de extrato para inibir 50% do radical DPPH	Guaratini e outros (2012)
<i>Hypnea musciformis</i>	Rio Grande do Norte	DPPH, poder quelante do ferro	32,5% de inibição do radical DPPH e 8% de poder quelante na concentração de 5 mg. mL ⁻¹	Alves e outros (2012)
<i>Caulerpa cupressoides</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do Ferro	44% de poder quelante na concentração de 2 mg. mL ⁻¹	Costa e outros (2012)

ESPÉCIES	LOCAL	MÉTODO	RESULTADOS	REFERÊNCIA
<i>Amansia</i> sp., <i>Bostrychia tenella</i> , <i>Cryptonemia seminervis</i> , <i>Hypnea pseudomusciformis</i> , <i>Plocamium brasiliense</i> , <i>Spyridia clavata</i>	Rio de Janeiro e Espírito Santo	DPPH	Resultados satisfatórios superiores a 60% de inibição do DPPH na concentração de 0,01 mg.mL ⁻¹	Martins e outros (2012)
<i>Sargassum vulgare</i>	Rio Grande do Norte	DPPH	22,2% de inibição na concentração de 2,5 mg.mL ⁻¹	Dore e outros (2013)
<i>Dictyopteris justii</i>	Rio Grande do Norte	Poder quelante do ferro	27,6% de poder quelante	Melo e outros (2013)
<i>Amansia multifida</i> e <i>Meristiella echinocarpa</i>	Ceará	DPPH, poder quelante do ferro	Mesmo na menor concentração (1 µg. mL ⁻¹), o extrato mostrou mais de 50% de atividade do DPPH. Para o poder quelante do ferro, <i>A. multifida</i> teve menor atividade que <i>M. echinocarpa</i>	Alencar e outros (2014)
<i>Pterocladia capillacea</i> e <i>Osmundaria obtusiloba</i>	Ceará	DPPH	40,81% e 99,47% para os extratos etanólicos (1 mg. mL ⁻¹) de <i>P. capillacea</i> e <i>O. obtusiloba</i> , respectivamente	Alencar e outros (2016)

ESPÉCIES	LOCAL	MÉTODO	RESULTADOS	REFERÊNCIA
<i>Ulva fasciata</i> e <i>Gayralia brasiliensis</i>	Paraná	DPPH	3,5% e 13,1% de inibição do radical DPPH na concentração de 1 mg.mL ⁻¹	Bernardi e outros (2016)
<i>Padina tetrastomatica</i> , <i>Padina gymnospora</i> , <i>Dictyopteris delicatula</i> , <i>Caulerpa racemosa</i> , <i>Caulerpa cupressoides</i> , <i>Bryopsis pennata</i> , <i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Chondracanthus acicularis</i> , <i>Palisada perforata</i> , <i>Gracilaria cearensis</i>	Pernambuco	DPPH	Padrão antioxidante dose-dependente e elevada atividade, mesmo em baixas concentrações. Destaque para <i>P. tetrastomatica</i> (100% de inibição em 0,4 mg.mL ⁻¹)	Vasconcelos e outros (2017)
<i>Gracilaria birdiae</i> , <i>Gracilaria caudata</i> , <i>Gracilaria domingensis</i>	Rio Grande do Norte	APCI*	Valores acima de 80% para <i>C. birdiae</i> e <i>C. caudatus</i>	Torres e outros (2019)
<i>Osmundaria obtusiloba</i> , <i>Alsidium triquetrum</i> e <i>Sargassum furcatum</i>	Pernambuco	DPPH	Valores acima de 90% de inibição do radical nas concentrações 100 µg. mL ⁻¹ , 150 µg. mL ⁻¹ e 200 µg. mL ⁻¹ para <i>O. obtusiloba</i> . Inibição acima de 90% para <i>A. triquetrum</i> e <i>S. furcatum</i> na concentração de 1 mg. mL ⁻¹	Vasconcelos e outros (2019)

ESPÉCIES	LOCAL	MÉTODO	RESULTADOS	REFERÊNCIA
<i>Sargassum vulgare</i> , <i>Palisada flagellifera</i> e <i>Ulva fasciata</i>	Bahia	ABTS, FRAP	Valores de EC_{50} ** abaixo de $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ para <i>S. vulgare</i>	Santos e outros (2019)
<i>Kappaphycus alvarezii</i> (cultivada)	São Paulo	ABTS	100% de atividade para o extrato metanólico ($3 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Araújo e outros (2020)

*APCI: Índice de composição da atividade antioxidante, através dos ensaios ABTS, poder quelante do ferro, Folin-Ciocalteu, FRAP e ORAC.

** EC_{50} : Concentração mínima para atingir 50% de atividade antioxidante.

ANTIOXIDANTES E A SAÚDE HUMANA

A atividade antioxidante ganha importância uma vez que, mesmo o oxigênio sendo um elemento fundamental para os organismos aeróbicos (FLESCHEM *et al.*, 2000), nas reações biológicas os radicais livres e outros derivados ativos do oxigênio são inevitavelmente coproduzidos. As EROS, como o radical hidroxila (OH), o radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), o radical hidróperóxido (HO_2), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o oxigênio atômico (O_2^1), são produzidas nos tecidos celulares e podem causar dano oxidativo no DNA, nas proteínas, nos lipídeos e em outros componentes celulares frequentemente associados com condições crônicas extremas. Esses radicais livres exercem papel fisiológico importante, mas também estão envolvidos em vários processos deletérios ao organismo humano, como câncer, aterosclerose, diabetes, artrose, artrite reumática, distrofia muscular, catarata, disfunção pulmonar, isquemia, danos nos tecidos, distúrbios neurológicos e envelhecimento (NORDBERG; ARNÉR, 2001; VINAYAK *et al.*, 2011a, 2011b; WANG *et al.*, 2011; YANGTHONG *et al.*, 2009).

Os organismos aeróbios, desde as cianobactérias até o homem, desenvolveram uma série de mecanismos fisiológicos e biomoleculares de defesa contra os efeitos

das EROS. Nas células de organismos fotossintetizantes, esses mecanismos estão mais fortemente desenvolvidos em comparação com outras células, uma vez que as membranas fotossintéticas, os tilacoides, são alvo primário para os efeitos deletérios oxidativos, por conterem lipídeos não saturados como elementos estruturais majoritários. Portanto, vários mecanismos de proteção são desenvolvidos nessas células. De fato, as folhas das plantas vasculares e os talos das algas contêm numerosas substâncias antioxidantes (MATSUKAWA *et al.*, 1997).

Os povos asiáticos há muito tempo possuem a tradição do uso culinário de macroalgas. Elas são consumidas *in natura* ou na forma de extratos e de pós, caseiros ou industrializados. Em média, os japoneses consomem 1,4 kg de macroalgas por pessoa por ano. Essa tradição antiga e os hábitos diários desses povos tornaram possível um grande número de pesquisas epidemiológicas mostrando os benefícios na saúde relacionados ao consumo de macroalgas (ADMASU *et al.*, 2017; COTAS *et al.*, 2020; FUNAHASHI *et al.*, 1999; HIQASHI *et al.*, 1999; TEAS, 1981). No Ocidente, as macroalgas têm sido utilizadas indiretamente pela indústria alimentícia na forma de ágar, carragenana e alginato pelas suas importantes propriedades gelificantes, emulsificantes e espessantes (MOHAMED *et al.*, 2012).

Entretanto, nos últimos anos, o consumo de macroalgas tem aumentado consideravelmente ao redor do mundo devido ao reconhecimento de seu valor nutricional. As macroalgas possuem poucas calorias e são ricas em provitamina A, vitaminas B, C e E, minerais (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, sódio, ferro e iodo) e fibras dietéticas (MATANJUN *et al.*, 2009; PATARRA *et al.*, 2011; PIRES *et al.*, 2008; PIRES-CAVALCANTE *et al.*, 2011; SOUSA *et al.*, 2008). Além disso, são ricas em compostos bioativos com ação anti-inflamatória, antimicrobiana, antitumoral, antiviral e antioxidante (ADMASU *et al.*, 2017; MAYER *et al.*, 2011).

Seu elevado valor nutricional, combinado com a bioatividade, faz das macroalgas um importante suplemento em alimentos funcionais, os quais fornecem benefícios específicos para a saúde, além da nutrição básica (ALMEIDA *et al.*, 2020; CORSETTO *et al.*, 2020; HOLDT; KRAAN, 2011; KAMUNDE *et al.*, 2019). Dessa forma, como produto alimentar em si ou tendo seus compostos bioativos extraídos, as macroalgas apresentam elevado potencial para a saúde humana. Esse campo de pesquisa deve ser mais desenvolvido e explorado, principalmente no Brasil, onde a flora ficológica é ricamente diversa.

POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE MACROALGAS DE PERNAMBUCO

O litoral de Pernambuco possui, aproximadamente, 190 km de linha de costa, e está localizado na província biogeográfica do Atlântico Tropical Sul Ocidental, onde ocorrem extensas formações recifais, propícias para o crescimento de diversas espécies de macroalgas. Esses recifes tropicais são ambientes severos, e as algas estão expostas a condições ambientais extremas, como elevado hidrodinamismo, radiação UV, flutuações de temperatura e de salinidade, dessecação e outros fatores originados dos ciclos de maré. Para sobreviver nesse ambiente, as macroalgas desenvolveram diversas estratégias de defesa, produzindo compostos com ação antioxidante.

Avaliando as espécies mais comuns de macroalgas marinhas dos recifes de Pernambuco (Figura 5.5), observamos que todas as espécies, por estarem expostas a fatores ambientais severos, possuem elevada atividade antioxidante, mesmo em baixas concentrações de extrato. *Padina tetrastomatica* foi a espécie com maior potencial (Figura 5.6), a qual poderia ser empregada em indústrias cosméticas, nutracêuticas, farmacológicas, entre outras (VASCONCELOS *et al.*, 2017).

A fim de eliminar o efeito dos fatores ambientais, os quais podem variar de acordo com a posição da alga no recife, escolhemos a região inferior de recifes intermareais de Pernambuco, a fim de testar a atividade antioxidante das três macroalgas dominantes desse habitat. Entre as espécies *Sargassum furcatum*, *Alsidium triquetrum* (como *Bryothamnion triquetrum*) e *Osmundaria obtusiloba*, esta última foi a mais promissora (Figura 5.7), com atividade próxima ao padrão utilizado (VASCONCELOS *et al.*, 2019).

Atribuímos a elevada atividade antioxidante de *O. obtusiloba* a ácidos graxos de cadeias longas, como ácido palmítico, benzenometanol e quinoxalinona, os quais devem atuar como pró-oxidantes, prevenindo danos oxidativos a curto prazo. Resaltamos também o elevado potencial dessas espécies tropicais, principalmente *O. obtusiloba*, representando uma nova fonte de antioxidantes naturais.

Concluimos então que as macroalgas tropicais apresentam elevada atividade antioxidante, a qual está aparentemente relacionada a compostos lipofílicos, e que a dessecação, enfrentada durante os ciclos de maré, é o principal fator influenciando a atividade antioxidante, e, assim, a distribuição das algas nos recifes.



Figura 5.5 Aspecto geral das macroalgas nos recifes de Pernambuco. (a) *Gracilaria caudata*. (b) *Gracilaria cearensis*. (c) *Osmundaria obtusiloba*. (d) *Alsidium triquetrum*. (e) *Acanthophora spicifera*. (f) *Chondracanthus acicularis*. (g) *Amansia multifida*. (h) *Cryptonemia seminervis*. (i) *Palisada perforata*. (j) *Dictyopteris delicatula*. (k) *Padina* sp. (l) *Sargassum* sp. (m) *Caulerpa racemosa*. (n) *Caulerpa cupressoides*. (o) *Bryopsis pennata*.
Fonte: Juliane Vasconcelos.



Figura 5.6 Resultados do ensaio de inibição do radical DPPH, expresso em concentração mínima para atingir 50% de atividade (EC₅₀ (mg.mL⁻¹)) para macroalgas tropicais dos recifes de Pernambuco e ácido gálico como padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas (teste de Tukey HSD, $p < 0,05$). Quanto menor o valor, melhor a performance antioxidante. Fonte: Vasconcelos e outros (2017).

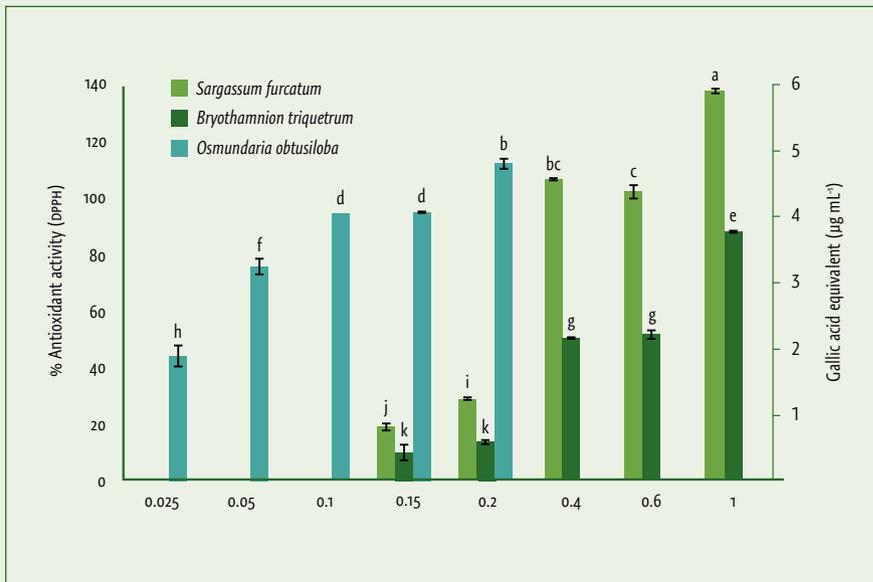


Figura 5.7 Resultado da atividade antioxidante, expressa em % e equivalente em ácido gálico, pelo ensaio de inibição do radical DPPH para três macroalgas dos recifes tropicais de Pernambuco, testadas em diferentes concentrações de extrato (mg.mL⁻¹). Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre concentrações e espécies. Fonte: Vasconcelos e outros (2019).

REFERÊNCIAS

- ABDALA-DÍAZ, R. T.; CABELLO-PASINI, A.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, E.; CONDE ÁLVAREZ, R. M.; FIGUEROA, F. L. Daily and seasonal variations of optimum quantum yield and phenolic compounds in *Cystoseira tamariscifolia* (Phaeophyta). *Journal of Phycology*, v. 148, p. 459-65. 2006.
- ADMASU, H.; GASMALLA, M. A. A.; YANG, R.; ZHAO, W. Bioactive peptides derived from seaweed protein and their health benefits: antihypertensive, antioxidant, and antidiabetic properties. *Journal of Food Science*, v. 83, n. 1, p. 6-16. 2018.
- AHN, C. B.; JEON, Y. J.; KANG, D. S.; SHIN, T. S.; JUNG, B. M. Free radical scavenging activity of enzymatic extracts from a brown seaweed *Scytosiphon lomentaria* by electron spin resonance spectrometry. *Food Research International*, v. 37, p. 253-258. 2004.
- ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, v. 21, n. 2, p. 143-152. 2013.
- ALENCAR, D. B.; SILVA, S. R.; PIRES-CAVALCANTE, K. M. S.; LIMA, R. L.; PEREIRA JÚNIOR, F. N.; SOUSA M. B.; SAKER-SAMPAIO, S. Antioxidant potential and cytotoxic activity of two red seaweed species, *Amansia multifida* and *Meristiella echinocarpa*, from the coast of Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, p. 251-263. 2014.
- ALENCAR, D. B.; DE CARVALHO, F. C. T.; REBOUÇAS, R. H.; DOS SANTOS, D. R.; PIRES-CAVALCANTE K. M. S.; DE LIMA, R. L.; SAMPAIO, A. H. Bioactive extracts of red seaweeds *Pterocladia capillacea* and *Osmundaria obtusiloba* (Floridophyceae: Rhodophyta) with antioxidant and bacterial agglutination potential. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, v. 9, n. 4, p. 372-379. 2016.
- ALMEIDA, T. P.; RAMOS, A. A.; FERREIRA, J.; AZQUETA, A.; ROCHA, E. Bioactive compounds from seaweed with anti-leukemic activity: a mini-review on carotenoids and phlorotannins. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, v. 20, n. 1, p. 39-53. 2020.
- ALVES, M. G. C. F.; DORE, C. M. P. G.; CASTRO, A. J. G. C.; NASCIMENTO, M. S.; CRUZ, A. K.; SORIANO, E. M.; BENEVIDES, N. M. B.; LEITE, E. L. Antioxidant, cytotoxic and hemolytic effects of sulfated galactans from edible red alga *Hypnea musciformis*. *Journal of Applied Phycology*, v. 24, p. 1217-1227. 2012.
- AMSLER, C. D.; FAIRHEAD, V. A. Defensive and sensory chemical ecology of brown algae. *Advances in Botanical Research*, v. 43, p. 1-91. 2006.

ANDREGUETTI, D.; STEIN, E. M.; PEREIRA, C. M. P.; PINTO, E.; COLEPICOLA, P. Antioxidant properties and UV absorbance pattern of mycosporine-like amino acids analogs synthesized in an environmentally friendly manner. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, v. 27, n. 6, p. 305-312. 2013.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Compêndio da legislação brasileira de aditivos alimentares*. 2012.

ARAÚJO, P. G.; NARDELLI, A. E.; FUJII, M. T.; CHOW, F. Antioxidant properties of different strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) farmed on the Brazilian coast. *Phycologia*, v. 59, p. 272-279. 2020.

ASADA, K. Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. In: FOYER, C. H.; MULLINEAUX, P. M. (Ed.). *Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants*. CRC Press, Boca Raton, p. 77-104. 1994.

BADARINATH, A. V.; RAO, K. M.; CHETTY, C. M. S.; RAMKANTH, S. T. V. S. R.; RAJAN, T. V. S.; GNANAPRAKASH, K. A review on in-vitro antioxidant methods: comparisons, correlations and considerations. *International Journal of PharmTech Research*, v. 2, n. 2, p. 1276-1285. 2010.

BANDARANAYAKE, W. M. Mycosporines: are they nature's sunscreens?. *Natural Product Report*, v. 15, p. 159-172. 1998.

BEDOUX, G.; PLIEGO-CORTÉS, H.; DUFAU, C.; HARDOUIN, K.; BOULHO, R.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; ROBLEDO, D.; BOURGOUNON, N. Production and properties of mycosporine-like amino acids isolated from seaweeds. In: CALLOW, J. A. (Ed.). *Advances in Botanical Research*, v. 95, p. 213-245. Academic Press. 2020.

BERNARDI, J.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; LHULLIER, C.; GERBER, T.; COLEPICOLA, P.; PELLIZZARI, F. M. Preliminary data of antioxidant activity of green seaweeds (Ulvophyceae) from the South-western Atlantic and Antarctic maritime islands. *Hidrobiológica*, v. 26, n. 2, p. 233-239. 2016.

BLANCHETTE, C. A. Size and survival of intertidal plants in response to wave action: a case study with *Fucus gardneri*. *Ecology*, v. 78, n. 5, p. 1563-1578. 1997.

BROCK, E.; ABERG, P.; PAVIA, H. Phlorotannins as chemical defense against macroalgal epiphytes on *Ascophyllum nodosum*. *Journal of Phycology*, v. 37, p. 8. 2001.

CAMARA, R. B. G.; COSTA, L. S.; FIDELIS, G. P.; NOBRE, L. T. D. B.; DANTAS-SANTOS, N.; CORDEIRO, S. L.; COSTA, M. S. S. P.; ALVES, L. G.; ROCHA, H. A. O. Heterofucans from the brown seaweed *Canistrocarpus cervicornis* with anticoagulant and antioxidant activities. *Marine Drugs*, v. 9, p. 124-138. 2011.

CARDOZO, K. H. M.; CARVALHO, V. M.; PINTO, E.; COLEPICOLO, P. Fragmentation of mycosporine-like amino acids by hydrogen/deuterium exchange and electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Rapid Communication in Mass Spectrometry*, v. 20, p. 253-258. 2006.

CARDOZO, K. H. M.; GUARATINI, T.; BARROS, M. P.; FALCÃO, V. R.; TONON, A. P.; LOPES, N. P.; CAMPOS, S.; TORRES, M. A.; SOUZA, A. O.; COLEPICOLO, P.; PINTO, E. Metabolites from algae with economical impact. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, v. 146, p. 60-78. 2007.

CARRETO, J. I.; CARIGNAN, M. O.; MONTOYA, N. G. A high-resolution reversephase liquid chromatography method for the analysis of mycosporine-like amino acids (MAAs) in marine organisms. *Marine Biology*, v. 146, p. 237-252. 2005.

CORSETTO, P. A.; MONTORFANO, G.; ZAVA, S.; COLOMBO, I.; INGADOTTIR, B.; JONSDOTTIR, R.; RIZZO, A. M. Characterization of antioxidant potential of seaweed extracts for enrichment of convenience food. *Antioxidants*, v. 9, p. 249. 2020.

COSTA, L. S.; FIDELIS, G. P.; CORDEIRO, S. L.; OLIVEIRA, R. M.; SABRY, D. D. A.; CÂMARA, R. B. G.; NOBRE, L. T. D. B.; COSTA, M. S. S. P.; ALMEIDA-LIMA, J.; FARIAS, E. H. C.; ROCHA, H. A. O. Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 64, p. 21-28. 2010.

COSTA, L. S.; FIDELIS, G. P.; TELLE, C. B. S.; DANTAS-SANTOS, N.; CAMARA, R. B. G.; CORDEIRO, S. L.; COSTA, M. S. S. P.; ALMEIDA-LIMA, J.; MELO-SILVEIRA, R. F.; OLIVEIRA, R. M.; ALBUQUERQUE, I. R. L.; ANDRADE, G. P. V.; ROCHA, H. A. O. Antioxidant and antiproliferative activities of heterofucans from the seaweed *Sargassum filipendula*. *Marine Drugs*, v. 9, p. 952-966. 2011.

COSTA, M. S. S. P.; COSTA, L. S.; CORDEIRO, S. L.; ALMEIDA-LIMA, J.; DANTAS-SANTOS, N.; MAGALHÃES, K. D.; SABRY, D.; ALBUQUERQUE, I. R. L.; PEREIRA, M. R.; LEITE, E. L.; ROCHA, H. Evaluating the possible anticoagulant and antioxidant effects of sulfated polysaccharides from the tropical green alga *Caulerpa cupressoides* var. *flabellata*. *Journal of Applied Phycology*, v. 24, p. 1159-1167. 2012.

COTAS, J.; LEANDRO, A.; PACHECO, D.; GONÇALVES, A. M.; PEREIRA, L. A comprehensive review of the nutraceutical and therapeutic applications of red seaweeds (Rhodophyta). *Life*, v. 10, n. 3, p. 19. DOI: <https://doi.org/10.3390/life10030019>. 2020.

DORE, C. M.; ALVES, M. G. C. F.; WILL, L. S.; COSTA, T. G.; SABRY, D. A.; RÊGO, L. A. R. S.; ACCARDO, C. M.; ROCHA, H. A.; FILGUEIRA, L. G.; LEITE, E. L. A sulfated polysaccharide, fucans, isolated from brown algae *Sargassum vulgare* with anticoagulant, antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory effects. *Carbohydrate Polymers*, v. 91, p. 467-475. 2013.

DUNLAP, W. C.; YAMAMOTO T. Small-molecule antioxidants in marine organisms: antioxidant activity of mycosporine-glycine. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, v. 112, p. 105-114. 1995.

FAIRHEAD, V. A.; AMSLER, C. D.; MCCLINTOCK, J. B.; BAKER, B. J. Lack of defense or phlorotannins induction by UV radiation or mesograzers in *Desmarestia anceps* and *D. meniesii* (Phaeophyceae). *Journal of Phycology*, v. 42, p. 1174-83. 2006.

FERNANDO, I. S.; SANJEEWA, K. A.; SAMARAKOON, K. W.; LEE, W. W.; KIM, H. S.; RANASINGHE, P.; GUNASEKARA, U. K. D. S. S.; JEON, Y. J. Antioxidant and anti-inflammatory functionality of ten Sri Lankan seaweed extracts obtained by carbohydrase assisted extraction. *Food science and biotechnology*, v. 27, n. 6, p. 1761-1769. 2018.

FLESCHEM, S.; FLESCHEM, M.; NITA, S.; PAVEL, E.; MEGEARU, V. Free radicals mediated protein oxidation in biochemistry. *Roumanian Biotechnological Letters*, v. 5, p. 479-495. 2000.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Disponível em: www.revista-fi.com. Acesso em: 10 jul. 2009.

FRANKEL, E. N.; MEYER, A. S. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 80, n. 13, p. 1925-1941. 2000.

FUJIMOTO, K.; KANEDA, T. Screening test for antioxigenic compounds from marine algae and fraction from *Eisenia bicyclis* and *Undaria pinnatifida*. *Bulletin of Japan Society for the Science of Fisheries*, v. 46, p. 1125-1130. 1980.

FUNAHASHI, H.; IMAI, T.; TANAKA, Y.; TSUKAMURA, K.; HAYAKAWA, Y.; KIKUMORI, T.; MASE, T.; ITOH, T.; NISHIKAWA, M.; HAYASHI, H.; SHIBATA, A.; HIBI, Y.; TAKAHASHI, M.; NARITA, T. Wakame seaweed suppresses the proliferation of 7,12-dimethylbenz(a)-anthracene-induced mammary tumours in rats. *Japanese Journal of Cancer Research*, v. 90, p. 922-927. 1999.

GRESSLER, V.; FUJII, M. T.; MARTINS, A. P.; COLEPICOLA, P.; MANCINI, J.; PINTO, E. Biochemical composition of two red seaweed species grown on the Brazilian coast. *Journal Science of Food and Agriculture*, v. 91, p. 1687-1692. 2011.

GRÖNIGER, A.; SINHA, R. P.; KLISCH, M.; HÄDER, D. P. Photoprotective compounds in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae - a database. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, v. 58, p. 115-122. 2000.

GUAJARDO, E.; CORREA, J. A.; CONTRERAS-PORCIA, L. Role of abscisic acid (ABA) in activating anti-oxidant tolerance responses to desiccation stress in intertidal seaweed species. *Planta*, v. 243, n. 3, p. 767-781. 2016.

GUARATINI, T.; MEDEIROS, M. H. G.; COLEPICOLO, P. Antioxidantes na manutenção do equilíbrio redox cutâneo: uso e avaliação de sua eficácia. *Química Nova*, v. 30, p. 206-213. 2007.

GUARATINI, T.; LOPES, N. P.; MARINHO-SORIANO, E.; COLEPICOLO, P.; PINTO, E. Antioxidant activity and chemical composition of the non polar fraction of *Gracilaria domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie and *Gracilaria birdiae* (Plastino & Oliveira). *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 22, n. 4, p. 724-729. 2012.

HARTMANN, T. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, v. 68, p. 2831-2846. 2007.

HAYASE, F.; KATO, H. Antioxidative components of sweet potatoes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, v. 30, p. 37-46. 1984.

HIQASHI OKAJ, K.; OTANI, S.; OKAI, Y. Potent suppressive effect of a Japanese edible seaweed, *Enteromorpha prolifera* (Sujiao-nori) on initiation and promotion phases of chemically induced mouse skin tumorigenesis. *Cancer Letters*, v. 140, p. 21-25. 1999.

HOLDT, S. L.; KRAAN, S. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 543-597. 2011.

HOSOKAWA, M.; WANAZAKI, S.; MIYAUCHI, K.; KURIHARA, H.; KOHNO, H.; KAWABATA, J.; ODASHIMA, S.; TAKAHASHI, K. Apoptosis-inducing effect of fucoxanthin on human leukemia cell line HL-60. *Food Science and Technology Research*, v. 5, n. 3, p. 243-246. 1999.

JACOBSEN, C.; SØRENSEN, A. D. M.; HOLDT, S. L.; AKOH, C. C.; HERMUND, D. B. Source, extraction, characterization, and applications of novel antioxidants from seaweed. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 10, p. 541-568. 2019.

JASWIR, I.; NOVIENDRI, D.; HASRINI, R. F.; OCTAVIANI, F. Carotenoids: sources, medicinal properties and their application in food and nutraceutical industry. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 5, n. 33, p. 7119-7131. 2011.

KAMUNDE, C.; SAPPAL, R.; MELEGY, T. M. Brown seaweed (AquaArom) supplementation increases food intake and improves growth, antioxidant status and resistance to temperature stress in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Plos One*, v. 14, n. 7. 2019.

KARENTZ, D. Chemical defenses of marine organisms against solar radiation exposure: uv-absorbing mycosporine-like amino acids and scytonemin. *In: MCCLINTOCK, J. B.; BAKER, B. J. (Ed.). Marine Chemical Ecology*. CRC Press, Boca Raton, p. 481-520. 2001.

KARSTEN, U. Defense strategies of algae and cyanobacteria against solar ultraviolet radiation. *In: AMSLER, C. D. (Ed.). Algal Chemical Ecology*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008.

KHALID, S.; ABBAS, M.; SAEED, F.; BADER-UL-AIN, H.; SULERIA, H. A. R. Therapeutic potential of seaweed bioactive compounds. *In: MAITI, S. (Ed.). Seaweed biomaterials*, v. 1, p. 7-26. 2018.

KUMAR, M.; KUMARI, P.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Salinity and desiccation induced oxidative stress acclimation in seaweeds. *Advances in Botanical Research*, v. 71, p. 91-123. Academic Press. 2014.

LE LANN, K.; FERRET, C.; VANMEE, E.; SPAGNOL, C.; LHUILLERY, M.; PAYRI, C.; STIGER-POUVREAU, V. Total phenolic, size-fractionated phenolics and fucoxanthin content of tropical Sargassaceae (Fucales, Phaeophyceae) from the South Pacific Ocean: Spatial and specific variability. *Phycological Research*, v. 60, p. 37-50. 2012.

LI, Z.; WANG, B.; ZHANG, Q.; QU, Y.; XU, H.; LI, G. Preparation and antioxidant property of extract and semipurified fractions of *Caulerpa racemosa*. *Journal of Applied Phycology*, v. 24, n. 6, p. 1527-1536. 2012.

JIMENEZ-LOPEZ, C., PEREIRA, A. G., LOURENÇO-LOPES, C., GARCÍA-OLIVEIRA, P., CASSANI, L., FRAGA-CORRAL, M., PIETRO, M. A.; SIMAL-GANDARA, J. Main bioactive phenolic compounds in marine algae and their mechanisms of action supporting potential health benefits. *Food Chemistry*, v. 341, 128262. 2021.

MAGALHAES, K. D.; COSTA, L. S.; FIDELIS, G. P.; OLIVEIRA, R. M.; NOBRE, L. T.; DANTAS-SANTOS, N.; CAMARA, R. B.; ALBUQUERQUE, I. R.; CORDEIRO, S. L.; SABRY, D. A.; COSTA, M. S.; ALVES, L. G.; ROCHA, H. A. Anticoagulant, antioxidant and antitumor activities of heterofucans from the seaweed *Dictyopteris delicatula*. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 12, p. 3352-3365. 2011.

MARTINS, C. D. L.; RAMLOV, F.; CARNEIRO, N. P. N.; GESTINARI, L. M.; SANTOS, B. F.; BENTO, L. M.; LHULLIER, C.; GOUVEA, L.; BASTOS, E.; HORTA, P. A.; SOARES, A. R. Antioxidant properties and total phenolic contents of some tropical seaweeds of the Brazilian coast. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 1879-1888. 2012.

MASCHEK, J. A.; BAKER, B. J. The chemistry of algal secondary metabolism. In: AMSLER, C. D. (Ed.). *Algal Chemical Ecology*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008.

MATANJUN, P.; MOHAMED, S.; MUSTAPHA, N. M.; MUHAMMAD, K. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Euchema cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *Journal of Applied Phycology*, v. 21, p. 75-80. 2009.

MATSUKAWA, R.; DUBINSKY, Z.; KISHIMOTO, E.; MASAKI, K.; MASUDA, Y.; TAKEUCHI, T.; CHIHAARA, M.; YAMAMOTO, Y.; NIKI, E.; KARUBE, I. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, v. 9, p. 29-35. 1997.

MAYER, A. M. S.; RODRÍGUEZ, A. D.; BERLINCK, R. G. S.; FUSEYANI, N. Marine pharmacology in 2007-8: Marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, antiinflammatory, anti-malarial, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the immune and nervous system, and other miscellaneous mechanisms of action. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, v. 153, p. 191-222. 2011.

MELO, K. R.; CAMARA, R. B.; QUEIROZ, M. F.; VIDAL, A. A.; LIMA, C. R.; MELO-SILVEIRA, R. F.; ALMEIDA-LIMA, J.; ROCHA, H. A. Evaluation of sulfated polysaccharides from the brown seaweed *Dictyopteris justii* as antioxidant agents and as inhibitors of the formation of calcium oxalate crystals. *Molecules*, v. 18, p. 14543-14563. 2013.

MOHAMED, S.; HASHIM, S. N.; RAHMAN, H. A. Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends in Food Science Technology*, v. 23, p. 83-96. 2012.

NAKAMURA, H.; KOBAYASHI, J.; HIRATA, Y. Separation of mycosporine-like amino acids in marine organisms using reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, v. 250, p. 113-118. 1982.

NGO, D. H.; WIJESELARA, I.; VO, T. S.; TA, Q. V.; KIM, S. K. Marine food-derived functional ingredients as potential antioxidants in food industry: an overview. *Food Research International*, v. 44, n. 2, p. 523-529. 2011.

NORDBERG, J.; ARNÉR, S. J. Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 31, p. 1287-1312. 2001.

OJULARI, O. V.; LEE, S. G.; NAM, J. O. Therapeutic effect of seaweed derived xanthophyl carotenoid on obesity management; overview of the last decade. *International Journal of Molecular Science*, v. 21, n. 7, p. 2502, DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21072502>. 2020.

OKUZUMI, J.; TAKAHASHI, T.; YAMANE, T.; KITAO, Y.; INAGAKE, M.; OHYA, K.; NISHINO, H.; TANAKA, Y. Inhibitory effects of fucoxanthin, a natural carotenoid, on N-ethyl-N-nitro-N-nitrosoguanidine induced mouse duodenal carcinogenesis. *Cancer Letters*, v. 68, p. 159-168. 1993.

PAIVA, A. A. O.; CASTRO, A. J. G.; NASCIMENTO, M. S.; WILL, L. S. E. P.; SANTOS, N. D.; ARAÚJO, R. M.; XAVIER, C. A. C.; ROCHA, F. A.; LEITE, E. L. Antioxidant and anti-inflammatory effect of polysaccharides from *Lobophora variegata* on zymosan-induced arthritis in rats. *International Immunopharmacology*, v. 11, p. 1241-1250. 2011.

PATARRA, R. F.; PAIVA, L.; NETO, A. I.; LIMA, E.; BAPTISTA, J. Nutritional value of selected macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 205-208. 2011.

PAUL, V. J.; PUGLISI, M. P. Chemical mediation of interactions among marine organisms. *Natural Product Reports*, v. 21, p. 189-209. 2004.

PAVIA, H.; CERVIN, G.; LINDGREN, A.; ABERG, P. Effects of uv-B radiation and simulated herbivory on phlorotannins in the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Marine Ecology Progress Series*, v. 157, p. 139-146. 1997.

PLOUGUERNÉ, E.; LE LANN, K.; CONNAN, S.; JECHOUX, G.; DESLANDES, E.; STIGER-POUVREAU, V. Spatial and seasonal variation in density, reproductive status, length and phenolic content of the invasive brown macroalga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt along the coast of Western Brittany (France). *Aquatic Botany*, v. 85, n. 4, p. 337-344. 2006.

PIRES, K. M. S.; ALENCAR, D. B.; SOUSA, M. B.; SAMPAIO, A. H.; SAKER-SAMPAIO, S. Teores de α - e β -caroteno em macroalgas marinhas desidratadas. *Revista de Ciências Agronômicas*, v. 39, p. 257-262. 2008.

PIRES-CAVALCANTE, K. M. S.; ALENCAR, D. B.; SOUSA, M. B.; SAMPAIO, A. H.; SAKER-SAMPAIO, S. Seasonal changes of α -tocopherol in Green marine algae (*Caulerpa* genus). *Journal of Food Science*, v. 76, p. 775-781. 2011.

RAGAN, M. A.; GLOMBITZA, K. W. Phlorotannin, brown algal polyphenols. *Progress Physiology Research*, v. 4, p. 129-241. 1986.

RAYMUNDO, M. S.; HORTA, P. A.; FETT, R. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). *Brazilian Journal of Pharmacological Science*, v. 40, n. 4, p. 495-503. 2004.

REZANKA, T.; TEMINA, M.; TOLSTIKOV, A. G.; DEMBITSKY, V. M. Natural microbial UV radiation filters - mycosporine-like amino acids. *Folia Microbiologica*, v. 49, p. 339-352. 2004.

ROCHA, F. D.; PEREIRA, R. C.; KAPLAN, M. A. C.; TEIXEIRA, V. L. Produtos naturais de algas marinhas e seu potencial antioxidante. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 17, n. 4, p. 631-639. 2007.

RODRIGUES-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes brasileiras de carotenoides: tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. Brasília: MMA/SBF. 100 p. 2008.

RODRÍGUEZ-BONILLA, P.; GANDÍA-HERRERO, F.; MATENCIO, A.; GARCÍA-CARMONA, F.; LÓPEZ-NICOLÁS, J. M. Comparative study of the antioxidant capacity of four stilbenes using ORAC, ABTS⁺, and FRAP techniques. *Food Analytical Methods*, v. 10, n. 9, p. 2994-3000. 2017.

SANTOS, J. P.; TORRES, P. B.; DOS SANTOS, D. Y.; MOTTA, L. B.; CHOW, F. Seasonal effects on antioxidant and anti-HIV activities of Brazilian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 2, p. 1333-1341. 2019.

SHICK, J. M.; DUNLAP, W. C. Mycosporine-like amino acids and related gadusols: biosynthesis, accumulation, and UV-protective functions in aquatic organisms. *Annual Review of Physiology*, v. 64, p. 223-262. 2002.

SIES, H. Oxidative stress II. *Oxidants and antioxidants*. Academic Press, San Diego. 1991.

SIES, H. Strategies of antioxidant defense. *European Journal of Biochemistry*, v. 215, p. 213-219. 1993.

SILVA, A. M. O. E.; VIDAL-NOVOA, A.; GONZALEZ, A. E. B.; PINTO, J. R.; MANCINI, D. A. P.; REINA-URQUIJO, W. Y.; MANCINI-FILHO, J. In vivo and in vitro antioxidant activity and hepatoprotective properties of polyphenols from *Halimeda opuntia* (Linnaeus) Lamouroux. *Redox Reports (Online)*, v. 17, p. 47-53. 2012.

SOUSA, M. B.; PIRES, K. M. S.; ALENCAR, D. B.; SAMPAIO, A. H.; SAKER-SAMPAIO, S. α -, β -caroteno e α -tocoferol em algas marinhas in natura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 953-958. 2008.

SOUZA, B. W. S.; CERQUEIRA, M. A.; MARTINS, J. T.; QUINTAS, M. A. C.; FERREIRA, A. C. S.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Antioxidant potential of two red seaweeds from the Brazilian coasts. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v. 59, n. 10, p. 5589-5594. 2011.

- STIGER, V.; DESLANDES, E.; PAYRI, C. E. Phenolic contents of two brown algae, *Turbinaria ornata* and *Sargassum mangarevense* on Tahiti (French Polynesia): interspecific, ontogenic and spatio-temporal variations. *Botanica Marina*, v. 47, p. 402-409. 2004.
- SVENSSON, C. J.; PAVIA, H.; TOTH, G. B. Do plant density, nutrient availability, and herbivore grazing interact to affect phlorotannin plasticity in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*?. *Marine Biology*, v. 151, p. 2177-2181. 2007.
- TARGETT, N. M.; COEN, L. D.; BOETTCHER, A. A.; TANNER, C. E. Biogeographic comparisons of marine algal polyphenolics: evidence against a latitudinal trend. *Oecologia*, v. 89, p. 464-470. 1992.
- TEAS, J. The consumption of seaweed as a protective factor in the etiology of breast cancer. *Medical Hypotheses*, v. 7, p. 601-613. 1981.
- TORRES, P.; SANTOS, J. P.; CHOW, F.; FERREIRA, M. J. P.; DOS SANTOS, D. Y. Comparative analysis of in vitro antioxidant capacities of mycosporine-like amino acids (MAAs). *Algal Research*, v. 34, p. 57-67. 2018.
- TORRES, P.; NAGAI, A.; TEIXEIRA, D. I. A.; MARINHO-SORIANO, E.; CHOW F.; DOS SANTOS, D. Y. Brazilian native species of *Gracilaria* (Gracilariales, Rhodophyta) as a source of valuable compounds and as nutritional supplements. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 5, p. 3163-3173. 2019.
- VASCONCELOS, J. B.; VASCONCELOS, E. R.; BEZERRA, P. S.; COCENTINO, A. L.; NAVARRO, D. M.; CHOW, F.; FUJII, M. T. Screening for antioxidant capacity of tropical reef seaweeds: prospection for new natural antioxidants. *Tropical Oceanography*, v. 45, p. 16-30. 2017.
- VASCONCELOS, J. B.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; URREA-VICTORIA, V.; BEZERRA, P. S.; REIS, T. N.; COCENTINO, A. L.; NAVARRO, D. M. A. F.; CHOW, F. F.; ARECES, A. J.; FUJII, M. T. Antioxidant activity of three seaweeds from tropical reefs of Brazil: potential sources for bioprospecting. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 2, p. 835-846. 2019.
- VERPOORTE, R. Secondary metabolism. In: VERPOORTE, R.; ALFERMANN, A.W. (Ed). *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. 1. ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p. 1-9. 2000.
- VINAYAK, R. C.; SABU, S. A.; CHATTERJI, A. Bioprospecting of a few brown seaweeds for their cytotoxic and antioxidant activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, p. 1-9. 2011a.

VINAYAK, R. C.; SUDHA, S. A.; CHATTERJI, A. Bioscreening of a few green seaweeds from India for their cytotoxic and antioxidant potential. *Journal of Science and Food Agriculture*, v. 91, p. 2471-2476. 2011b.

WANG, S.; MECKLING, K. A.; MARCONE, M. F.; KAKUDA, Y.; TSAO, R. Can phytochemical antioxidant rich foods act as anti-cancer agents?. *Food Research International*, v. 44, p. 2545-2554. 2011.

WANG, Q.; ZUO, Y.; CHEN, T.; ZHENG, W.; YANG, Y. Effects of selenium on antioxidant enzymes and photosynthesis in the edible seaweed *Gracilaria lemaneiformis*. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, p. 1303-1310. 2019.

WIJESINGHE, W. A. J. P.; JEON, Y. J. Enzyme-assisted extraction (EAE) of bioactive components: a useful approach for recovery of industrially important metabolites from seaweeds: a review. *Fitoterapia*, v. 83, n. 1, p. 6-12. 2012.

YAN, X.; CHUDA, Y.; SUZUKI, M.; NAGATA, T. Fucoxanthin as the major antioxidant in *Hijikia fusiformis*, a common edible seaweed. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, v. 63, p. 605-607. 1999.

YANGTHONG, M.; HUTADILOK-TOWATANA, N.; PHROMKUNTHONG, W. Antioxidant activities of four edible seaweeds from the southern coast of Thailand. *Plant Food Human Nutrition Journal*, v. 64, p. 218-223. 2009.

YUAN, Y. V.; WESTCOTT, N. D.; HUC, C. H.; KITTS, D. D. Mycosporine-like amino acid composition of the edible red alga, *Palmaria palmata* (dulse) harvested from the west and east coasts of Grand Manan Island, New Brunswick. *Food Chemistry*, v. 112, p. 321-328. 2009.

ZHANG, Z.; COLLINGE, D. B.; THORDAL-CHRISTENSEN, H. Germin-like oxalate oxidase, a H₂O₂- producing enzyme, accumulates in barley attacked by the powdery mildew fungus. *Plant Journal*, v. 8, p. 139-145. 1995.

ZUBIA, M.; ROBLEDO, D. Y.; FREILE-PELEGRIN, Y. Antioxidant activities in tropical marine macroalgae from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Applied Phycology*, v. 19, p. 449-458. 2007.

**Monitoramento do
potencial de invasão
de *Kappaphycus
alvarezii* (Gigartinales,
Rhodophyta) nos
litorais da Paraíba e de
Pernambuco**

PATRÍCIA G. ARAÚJO / GEORGE E. C. DE MIRANDA / MUTUE T. FUJII

INTRODUÇÃO

A introdução de espécies aquáticas exóticas e suas implicações é um tema contemporâneo, muito discutido nas últimas décadas, principalmente no que diz respeito às algas (ARAÚJO *et al.*, 2020; ARECES-MALLEA *et al.*, 2014, CASTELAR *et al.*, 2015). Diversos são os impactos e implicações ecológicas resultantes dos eventos de introdução e de invasão de novas espécies, mas a perda da biodiversidade nativa é o principal dano ambiental relatado na literatura (ANDERSON, 2007; CASTELAR *et al.*, 2015; CHANDRASEKARAN *et al.*, 2008; CONKLIN; SMITH, 2005; SCHAFFELKE; HEWITT, 2007; SILVA *et al.*, 2010).

A macroalga vermelha *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao é uma das principais espécies de alga introduzida intencionalmente com propósitos de maricultura. Em virtude de suas altas taxas de produtividade e de técnicas de cultivo bem estabelecidas, *K. alvarezii* já foi introduzida em mais de 30 regiões tropicais e subtropicais do mundo, e atualmente é uma das principais espécies de macroalga cultivada (ALEMAÑ *et al.*, 2019; HURTADO *et al.*, 2019). Apesar do grande número de introduções, poucos são os casos de invasão ambiental estabelecidos. O caso mais bem documentado refere-se à invasão de espécies de *Kappaphycus* no litoral do Havá (CONKLIN *et al.*, 2009; CONKLIN; SMITH 2005). Segundo Zuccarello e colaboradores (2006), as algas que se estabeleceram nas comunidades recifais do Havá representavam uma linhagem geneticamente diferente, o que explica o caráter invasivo da alga. Outros registros de observação de talos de *K. alvarezii* no ambiente foram reportados na Índia (BAGLA, 2008; CHANDRASEKARAN *et al.*, 2008, KAMALAKANNAN *et al.*, 2010), na Venezuela (BARRIOS, 2005; BARRIOS *et al.*, 2007), na Costa Rica (CABRERA *et al.*, 2019) e no Panamá (SELLERS *et al.*, 2015), mas em nenhum deles havia uma evidência clara de invasão e estabelecimento no ambiente.

No Brasil, *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida pela primeira vez em 1995, no litoral de São Paulo, com aprovação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), com o objetivo de desenvolver um programa de avaliação de risco ambiental e de viabilidade de cultivo (PAULA *et al.*, 1999). Desde então, as pesquisas indicaram a probabilidade remota de invasão e boas taxas de crescimento para o litoral de São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina (ARAÚJO *et al.*, 2020; BULBOA *et al.*, 2008; BULBOA; PAULA, 2005; CASTELAR *et al.*, 2009a, 2009b; HAYASHI *et al.*, 2011; PAULA *et al.*, 1999, 2001, 2002).

Na costa nordeste do Brasil, há registros da introdução não regulamentada de *K. alvarezii* nos estados da Paraíba, do Rio Grande do Norte e do Ceará (ARAÚJO *et al.*,

2013; SILVA *et al.*, 2010). De acordo com Araújo e colaboradores (2013), a introdução de *K. alvarezii* na costa da Paraíba ocorreu no início da década de 2000, no município de Pitimbu, litoral sul do Estado, sem planejamento ambiental, procedimento de quarentena e certificação de origem do material. Atualmente, as algas são cultivadas em escala-piloto por pescadores locais, mas não existem ações de monitoramento ambiental e informações dos efeitos dessa introdução para a região.

Araújo e colaboradores (2013) investigaram a linhagem das algas cultivadas na Paraíba a partir da comparação das sequências de marcadores moleculares e concluíram que se trata de linhagens similares às cultivadas em diversas regiões tropicais do mundo e que não apresentam caráter invasivo. Araújo e colaboradores (2014) analisaram a sobrevivência de fragmentos de *K. alvarezii* desprendidos das balsas de cultivo da Paraíba sob diferentes condições de temperatura e salinidade. Os autores concluíram que os fragmentos desprendidos das balsas de cultivo têm baixo potencial de sobrevivência às variações ambientais, sobretudo porque a maior parte apresenta contaminação por algas epífitas filamentosas e outros sinais de infecção que prejudicam o desenvolvimento dos talos. Apesar de os estudos indicarem que a linhagem introduzida no litoral da Paraíba não demonstra caráter invasivo, todos os testes foram, por precaução, realizados em laboratório.

Apesar dos resultados de produção promissores e do baixo risco ambiental de *K. alvarezii* obtidos para as regiões Sul e Sudeste do país, estes dados não são aplicáveis à costa nordeste, que apresenta características ambientais diferentes. De acordo com Castelar e colaboradores (2015), a costa nordeste do Brasil é uma área de alto risco para a introdução e o cultivo da *K. alvarezii*, devido à presença dos recifes de corais. Por essa razão, é crucial o desenvolvimento de um estudo que avalie o risco ambiental da introdução de *K. alvarezii* na costa nordeste do Brasil, uma vez que essa introdução já existe e que ações de monitoramento e de segurança nessa área são fundamentais. Essas informações subsidiarão o estabelecimento do protocolo de monitoramento ambiental e ações de biossegurança na produção de *K. alvarezii*, além de contribuir para o ordenamento do setor da algicultura e a elaboração de políticas públicas para o Nordeste do país.

Portanto, o presente trabalho visou monitorar a dispersão de fragmentos de *K. alvarezii* arribados nos litorais da Paraíba e de Pernambuco e avaliar a ocorrência de esporos nos fragmentos de *K. alvarezii*, o potencial recrutamento e a viabilidade do seu estabelecimento por meio de células reprodutivas em substratos artificiais.

CULTIVO DE *K. ALVAREZII*

O cultivo de *Kappaphycus alvarezii* está localizado no município de Pitimbu, litoral sul do estado da Paraíba. Nesse estudo, foram selecionadas oito áreas de monitoramento, localizadas nos litorais da Paraíba e de Pernambuco (Figura 6.1). A Tabela 6.1 apresenta as coordenadas geográficas e o tipo de monitoramento que foi realizado em cada área. As cinco primeiras áreas (A1 a A5) corresponderam às estações de monitoramento das algas arribadas, situadas na linha de praia, e três outras áreas (A6 a A8) foram estabelecidas para monitorar a presença de *K. alvarezii* no mar.

Em 2012, período em que foi realizado o monitoramento ambiental, *K. alvarezii* era cultivada em balsas flutuantes, presas em sistema de “*tie-tie*”. Cada balsa media 20 m de comprimento, dividindo-se em módulos de 20 m x 3 m. Em 2012, foram mantidas três balsas, localizadas a 1,5 km da linha da costa. A região onde estão instaladas as balsas caracteriza-se pelo substrato arenoso e pela presença de alguns pontos com nódulos de algas calcárias, com profundidade local de, aproximadamente, 2 m a 3 m na maré baixa (0.0 m).

ÁREAS	COORDENADA GEOGRÁFICA	LOCAL	TIPO DE MONITORAMENTO
A1	07°04'47.01"S-34°49'47.69"L	Praia do Bessa, PB	Monitoramento das algas arribadas
A2	07°17'58"S-34°47'54"L	Praia do Coqueirinho, PB	
A3	07°28'32.28"S-34°48'24.87"L	Praia de Pitimbu, PB	
A4	07°30'35.9"S-34°48'33.78"L	Praia Azul, PB	
A5	07°32'42.16"S-34°49'25.53"L	Praia de Acaú, PB	
A6	07°28'06.66"S-34°48'01.02"L	Recifes de Pitimbu, PB	Monitoramento no mar
A7	07°30'10.5"S-34°47'53.5"L	Área do cultivo de <i>K. alvarezii</i> , PB	Monitoramento no mar Avaliação com substrato artificial (esporos/gametas)
A8	07°36'48.6"S-34°47'14.7"L	Recife de Ponta de Pedras, PE	Monitoramento no mar

Tabela 6.1 Coordenadas geográficas e descrição do tipo de monitoramento realizado em cada área.



Figura 6.1 Localização do cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no município de Pitimbu, PB, e das áreas de monitoramento nos litorais da Paraíba e de Pernambuco.

Fonte: Patrícia Araújo.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIOMASSA DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* ARRIBADA ÀS PRAIAS

O monitoramento das algas arribadas foi realizado a cada dois meses no período de janeiro de 2011 a janeiro de 2012. As áreas de monitoramento da biomassa arribada (A_1 - A_5) (Figura 1) foram divididas em três setores de 500 m x 2 m ($n=3$), os quais foram percorridos durante as marés baixas de sizígia, e a biomassa de *K. alvarezii* encontrada em cada setor foi coletada. As algas foram transportadas para o Laboratório de Algas Marinhas da Universidade Federal da Paraíba (LAM/DSE/UFPB) em caixas térmicas e pesadas para quantificação da biomassa úmida. Em seguida, as algas foram analisadas com auxílio de lupa, quanto à presença de estruturas reprodutivas.

Os *vouchers* do material coletado foram depositados nos Herbários Lauro Pires Xavier da Universidade Federal da Paraíba (JPB 44450) e Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo, do Instituto de Botânica, em São Paulo (SP 400964).

Para auxiliar na análise da dispersão das algas arribadas, foram coletados dados da velocidade e direção do vento no período de 2011 a 2012 através do Banco de Dados da Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). A estação meteorológica do Inmet onde os dados foram coletados localiza-se em João Pessoa, a 36 km de Pitimbu.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE BIOMASSA DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* NO MAR

O monitoramento de *Kappaphycus alvarezii* no mar foi realizado em agosto de 2012 (período chuvoso) e em dezembro de 2012 (período seco), através de mergulho em apneia durante a maré baixa de sizígia. Em cada área de monitoramento no mar, A_6 (Formação recifal de Pitimbu), A_7 (Área do cultivo de *K. alvarezii*) e A_8 (Formação recifal da praia de Ponta de Pedras, PE), foram sorteados três pontos, considerando um ângulo de 0° a 359° , e distância de 0 m a 100 m. Para cada ponto sorteado ($n=3$), foram lançados cinco transectos de 50 m x 1 m ($n=5$) de forma aleatória, e verificada a presença de *K. alvarezii*. Em casos de dúvida na identificação da alga, o material foi coletado e levado para o Laboratório de Algas Marinhas (LAM/DSE/UFPB), para certificação.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESTABELECIMENTO DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* VIA PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS E RECRUTAMENTO DE PROPÁGIOS NOS SUBSTRATOS ARTIFICIAIS

A avaliação de estabelecimento de *Kappaphycus alvarezii* via produção de estruturas reprodutivas foi realizada na área de monitoramento A₁ (Área do cultivo de *K. alvarezii*), através da instalação e do acompanhamento de substratos artificiais no período de janeiro a novembro de 2012. Esses substratos artificiais são compostos de argamassa, areia de praia e água, com formato irregular e anfractuosidades na superfície, semelhantes a um nódulo de alga calcária.

A cada dois meses, no período de janeiro a setembro de 2012, foram instalados 10 substratos, totalizando 50 substratos ao final do estudo. Esses substratos foram instalados no fundo, a cerca de 2 metros de profundidade, próximos às balsas de cultivo. Todos os substratos foram identificados quanto ao mês de sua implantação, e o acompanhamento da presença/ausência de *K. alvarezii* foi realizado bimensalmente através de observação direta e por fotografia. Ao final do experimento, todos os substratos foram retirados do mar e levados para o Laboratório de Algas Marinhas (LAM/DSE/UFPB).

Em laboratório, os substratos foram averiguados quanto à presença de *K. alvarezii* com auxílio de estereomicroscópio e lupa de mão, e mantidos em aquários por 30 dias. Os substratos foram mantidos em água do mar filtrada enriquecida com 25% da solução de nutrientes de Von Stosch (vses/4), preparada segundo Edwards (1970) e modificada por Yokoya (2000), e dióxido de germânio (GeO₂) na concentração de 1 mg.L⁻¹, para inibir o crescimento de diatomáceas. O meio de cultura foi trocado em um intervalo de 15 dias. As condições de cultura foram: temperatura 23 °C ± 3 °C, salinidade de 32 ± 1, densidade de fluxo fotônico de 70 μmol a 100 μmol de fótons.m⁻²s⁻¹, fornecida por lâmpadas fluorescentes de 40W do tipo “luz do dia”, aeração e fotoperíodo de 12 h.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIOMASSA DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* ARRIBADA À PRAIA

A Tabela 6.2 apresenta os valores médios mensais da velocidade e direção do vento. O vento Sudeste/Leste foi predominante na maior parte do ano, e os ventos mais fortes ocorreram no período de junho a setembro de 2011 e 2012, e março 2012.

A Tabela 6.3 apresenta os valores médios de biomassa de *K. alvarezii* arribada coletada por área e mês de monitoramento. *K. alvarezii* arribada foi observada apenas nas áreas A₃ (Pitimbu), A₄ (praia Azul) e A₅ (praia de Acaú) (Figura 6.2). A distância aproximada entre as áreas de monitoramento está representada na Figura 6.2. A maior parte da biomassa foi coletada nas áreas A₃ (Pitimbu) e A₄ (praia Azul), região localizada a noroeste das balsas de cultivo. Essas algas foram observadas junto com outras algas arribadas ao longo da linha de praia e em redes de pesca (Figura 6.3).

A biomassa de *K. alvarezii* arribada variou ao longo do ano. As algas foram observadas apenas no período de janeiro a maio de 2011, e janeiro de 2012 (Tabela 6.3).

PERÍODO	DIREÇÃO MAIS FREQUENTE DO VENTO	VELOCIDADE DO AR (M/S)
Janeiro/2011	Sudeste/Leste	4,6
Fevereiro/2011	Sudeste/Leste	5,3
Março/2011	Sudeste/Leste	3,6
Abril/2011	Sudeste/Sul	4,6
Maió/2011	Sul/Sudeste	6,3
Junho/2011	Sudeste/Sul	6
Julho/2011	Sudeste/Sul	6,6
Agosto/2011	Sudeste/Sul	6,3
Setembro/2011	Sudeste/Sul	5,8
Outubro/2011	Sudeste/Leste	5,3
Novembro/2011	Sudeste/Leste	3,8
Dezembro/2011	Sudeste/Leste	5
Janeiro/2012	Sudeste/Leste	4,5
Fevereiro/2012	Sudeste	5
Março/2012	Sudeste/Sul	7,3
Abril/2012	Sudeste	4,3
Maió/2012	Sudeste/Leste	4,6
Junho/2012	Sudeste/Sul	5
Julho/2012	Sudeste/Sul	5,5
Agosto/2012	Sudeste/Sul	6,3
Setembro/2012	Sudeste	6
Outubro/2012	Sudeste	5
Novembro/2012	Sudeste/Leste	4,6
Dezembro/2012	Sudeste/Leste	5

Tabela 6.2 Parâmetros ambientais da região de Pitimbu no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012. (Dados da rede do Inmet.)

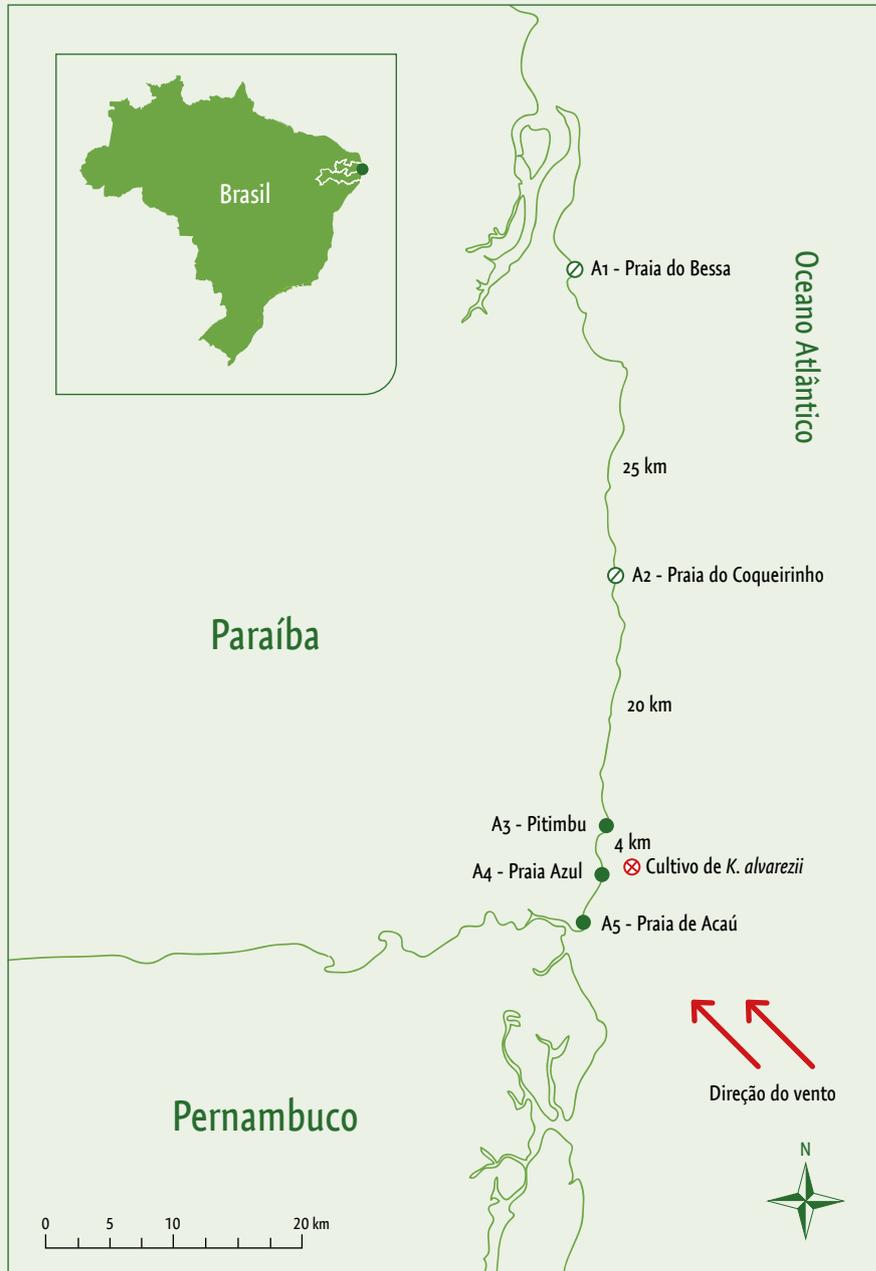


Figura 6.2 Áreas de monitoramento ao longo do litoral da Paraíba com a presença e a ausência de biomassa de *K. alvarezii* arribada (g/m^2). O símbolo ○ significa ausência de *K. alvarezii* arribada, o símbolo ● significa a presença de *K. alvarezii* arribada, e o símbolo ⊗ representa a região do cultivo de *K. alvarezii*. As setas vermelhas indicam a direção predominante dos ventos. Fonte: Patrícia Araújo.

ÁREAS DE MONITORAMENTO	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO			PERÍODO SECO	
	Jan/11	Mar/11	Mai/11	Jul/11	Set/11	Nov/11	Jan/12
Praia do Bessa (A1)	0	0	0	0	0	0	0
Praia de Coqueirinho(A2)	0	0	0	0	0	0	0
Praia de Pitimbu (A3)	30	68	908	0	0	0	540
Praia Azul (A4)	2,3	162	2.310	0	0	0	491
Praia de Acaú (A5)	1	284	0	0	0	0	0

Tabela 6.3 Biomassa úmida (g.m^{-2}) de *Kappaphycus alvarezii* arribada por área e mês de monitoramento na costa da Paraíba.



Figura 6.3 (a) Detalhe de variante pigmentar verde (VD) junto com outras algas arribadas; (b) As três variantes pigmentares: verde (VD), marrom (MR) e vermelha (VM), coletadas em rede de pesca na praia de Pitimbu, PB. Fonte: Patrícia Araújo.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* NO MAR

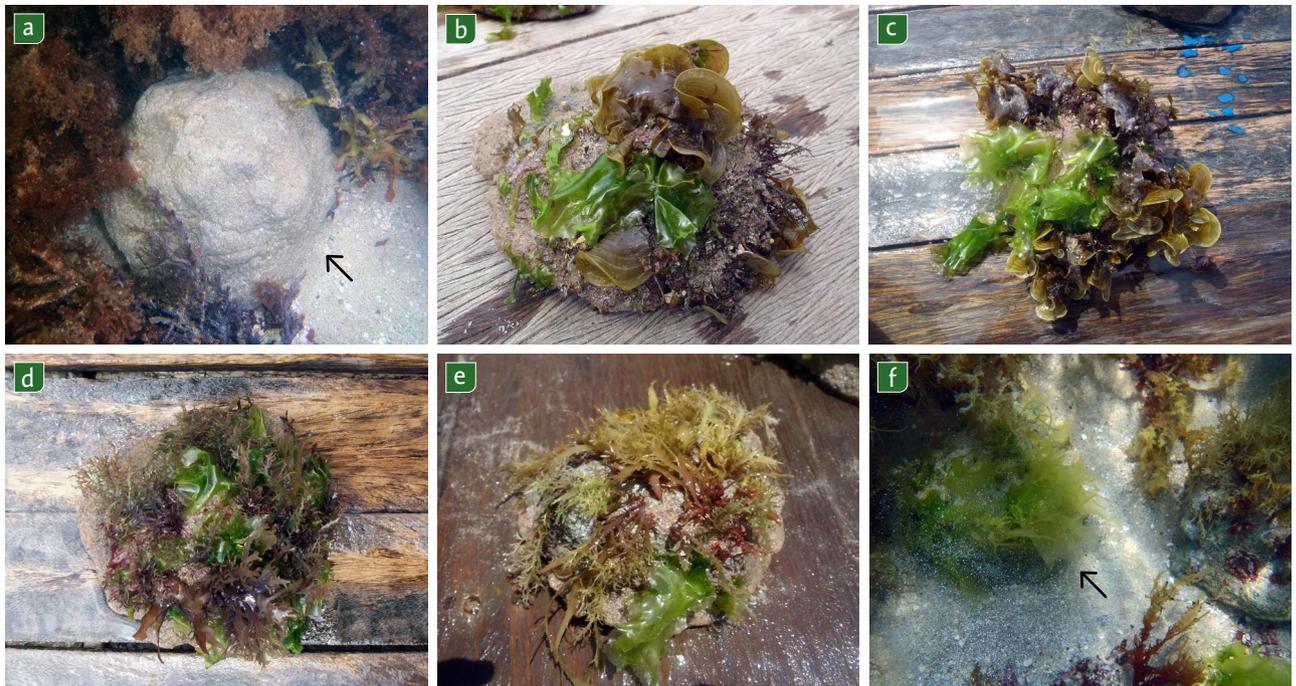
Não foi observado nenhum talo de *K. alvarezii* fixo ou enroscado em substrato natural nas três áreas de monitoramento analisadas: A₆ (Recifes de Pitimbu), A₇ (Cultivo de *K. alvarezii*) e A₈ (Recifes de Ponta de Pedras). Esse resultado se repetiu no monitoramento de agosto de 2012 (período chuvoso) e de dezembro de 2012 (períodos seco e chuvoso).

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESTABELECIMENTO DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* VIA PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS E RECRUTAMENTO DE PROPÁGULOS NOS SUBSTRATOS ARTIFICIAIS

Não foi observada nenhuma estrutura reprodutiva nas algas arribadas, nem houve recrutamento ou desenvolvimento de propágulos de *K. alvarezii* nos substratos artificiais (Figura 6.4). Na análise em laboratório, não foi observado nenhum talo de *K. alvarezii* se desenvolvendo sobre os substratos artificiais.

Figura 6.4 Substratos artificiais utilizados para análise de estabelecimento de *K. alvarezii* por esporos, gametas ou propagação vegetativa. (a) Detalhe do substrato no mar logo após a implantação. (b) Substrato após dois meses de implantação. (c) substrato após quatro meses de implantação. (d) Substratos após oito meses de implantação. (e) Substrato com 11 meses de implantação. (f) Substrato no mar após quatro meses de implantação (seta indica o substrato).

Fonte: Patrícia Araújo.



O monitoramento comprovou a dispersão de fragmentos de *Kappaphycus alvarezii* arribados ao longo da linha de praia, restritos às regiões próximas às balsas de cultivo, entre as praias de Pitimbu e Azul. A direção do vento foi o fator ambiental mais importante na dispersão dessas algas, tendo predominado ventos sudeste, o que explica a maior concentração de algas a noroeste da balsa de cultivo.

Durante a estação chuvosa, houve aumento da velocidade dos ventos, e, conseqüentemente, aumento do hidrodinamismo, o que deveria provocar aumento do desprendimento das algas das balsas de cultivo. No entanto, isso não foi observado devido à mudança no manejo das balsas realizada pelos maricultores, diminuindo as mudas e recolhendo grande parte da biomassa das algas, com o propósito de evitar grandes perdas (informação verbal)¹. O efeito desse manejo no cultivo surtiu efeito e não foram encontradas algas arribadas durante o período chuvoso.

No cultivo de *K. alvarezii* em Pitimbu não são utilizadas redes de contenção, como ocorre nos litorais sudeste e sul do Brasil, a fim de evitar a perda de algas (CASTELAR *et al.*, 2009a, 2009b; CÔES; REIS, 2012; HAYASHI *et al.*, 2011). Entretanto, o procedimento de diminuir a biomassa de algas cultivadas durante a estação chuvosa se mostrou eficaz para evitar a perda de biomassa no período de fortes ventos.

O aumento de biomassa arribada detectado no período seco (janeiro de 2012) pode ser explicado devido à ampliação do cultivo durante essa estação do ano. Entre outubro e novembro, início do período seco, os maricultores fazem o replantio e o aumento do número de balsas. Durante o período seco há maior incidência de radiação solar, menos vento e menor turbidez da água, o que favorece o crescimento da *K. alvarezii*, contribuindo de forma significativa para o incremento da produção (ARECES, 1995; BULBOA; PAULA, 2005; HAYASHI *et al.*, 2011; PAULA *et al.*, 2002).

Não foi observado nenhum talo fixo ou enroscado em substratos naturais durante o monitoramento nos ambientes recifais e na área próxima às balsas de cultivo. Estudos mostram que, na maioria das vezes, fragmentos de *K. alvarezii* que se desprendem das estruturas de cultivo não conseguem sobreviver no mar, e fatores ambientais como a herbivoria, o epifitismo e a baixa incidência luminosa são limitantes ao

1 Informação fornecida pelo maricultor Sr. Marivaldo Bastos, em comunicação pessoal com ele.

desenvolvimento da espécie (ARAÚJO *et al.*, 2020; CASTELAR *et al.*, 2009a; ARECES-MALLEA *et al.*, 2014; PAULA *et al.*, 2002). No presente estudo, a herbivoria e o epifitismo nas algas arribadas por *Colaconema infestans* (M. A. Howe & Hoyt) Woelkerling foram aspectos limitantes a *K. alvarezii* arribada. Esse resultado ratifica as conclusões de Araújo e colaboradores (2014), que relatam que a sobrevivência e o desenvolvimento de talos de *K. alvarezii* em laboratório, provenientes do litoral da Paraíba, foram prejudicadas devido ao epifitismo por *C. infestans*.

O cultivo de *K. alvarezii* pode trazer benefícios socioeconômicos, especialmente às comunidades costeiras tradicionais, se este for desenvolvido de forma planejada e com ações de monitoramento ambiental (ALEMAÑ *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2020). No entanto, quando essas ações são negligenciadas, os benefícios podem ser anulados pelos riscos de crescimento descontrolado da alga, causando prejuízos ambientais (ARECES-MALLEA *et al.*, 2014; CASTELAR *et al.*, 2016). Por essa razão, ressaltamos a importância das ações de monitoramento ambiental no litoral nordestino. Mesmo que não tenha sido detectado qualquer sinal de estabelecimento de *K. alvarezii* no ambiente até dezembro de 2012, mês da última ação de monitoramento, não se pode ignorar a necessidade e a importância de ações de monitoramento contínuo na região. Casos de bioinvasão registrados no Havaí (CONKLIN *et al.*, 2009) e as ocorrências de um número significativo de fragmentos no ambiente na Índia (CHANDRASEKARAN *et al.*, 2008, KAMALAKANNAN *et al.*, 2010) e na Venezuela (BARRIOS, 2005; BARRIOS *et al.*, 2007) foram consequências de abandono das fazendas de cultivo e ausência de ações de monitoramento ambiental.

Não foram observadas estruturas reprodutivas nos fragmentos arribados de *K. alvarezii*, nem recrutamento dessa alga nos substratos artificiais. Esse resultado corrobora os registros da literatura que afirmam que *K. alvarezii* permanece infértil em condições de cultivo (ARAÚJO *et al.*, 2020; CASTELAR *et al.*, 2009; HAYASHI *et al.*, 2011). Bulboa e outros (2008) reportam um único evento de desenvolvimento e liberação de esporos de *K. alvarezii* no cultivo no litoral de São Paulo. No entanto, a baixa viabilidade dos esporos de *K. alvarezii*, relacionada ao processo meiótico deletério dessas algas, em virtude da propagação clonal ou da sua origem híbrida, reduziu o potencial reprodutivo e a má formação dos esporos dessa espécie. Após duas décadas da introdução

e do cultivo da *K. alvarezii* no litoral de São Paulo, Araújo e colaboradores (2020) não detectaram o desenvolvimento de estruturas reprodutivas durante o monitoramento ambiental. No entanto, apesar da baixa viabilidade das células reprodutivas, é importante considerar que a introdução de uma espécie exótica representa a entrada de uma nova linhagem no ambiente, podendo ela se tornar invasiva (CASTELAR *et al.*, 2015); recomenda-se, portanto, o monitoramento sistemático da ocorrência e o recrutamento de estruturas reprodutivas de *K. alvarezii* nas áreas sob influência do cultivo.

Portanto, até dezembro de 2012, não houve qualquer registro de estabelecimento de *Kappaphycus alvarezii* nos litorais da Paraíba e de Pernambuco, apenas uma dispersão pontual de fragmentos da alga foi observada, os quais não sobreviveram fora das balsas de cultivo. No entanto, enfatizamos a necessidade e a importância das ações efetivas e sistemáticas de monitoramento ambiental, e de um sistema de cultivo com normas de segurança ambiental para o desenvolvimento de uma algicultura sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALEMAÑ, A.; ROBLEDO, D.; HAYASHI, L. Development of seaweed cultivation in Latin America: current trends and future prospects. *Phycologia*, v. 58, p. 462-472. 2019.
- ANDERSON, L. W. J. Control of invasive seaweeds. *Botanica Marina*, v. 50, p. 418-437. 2007.
- ARAÚJO, P. G.; MIRANDA, G. E. C.; BARROS-BARRETO, M. B.; FUJII, M. T. Molecular identification of the exotic lineage of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivated in the tropical region of Brazil. *Phytotaxa*, v. 109, p. 17-26. 2013.
- ARAÚJO, P. G.; NARDELLI, A. E.; GELLI, V. C.; FUJII, M. T.; CHOW, F. Monitoring environmental risk of the exotic species *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta), after two decades of introduction in southeastern Brazil. *Botanica Marina*, v. 63, p. 551-558. 2020.
- ARAÚJO, P. G.; RIBEIRO, A. L. N. L.; YOKOYA, N. S.; FUJII, M. T. Temperature and salinity responses of drifting specimens of *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) farmed on the Brazilian tropical coast. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 1979-1988. 2014.
- ARECES, A. J. Cultivo comercial de carragenofitas del género *Kappaphycus alvarezii* Doty. In: ALVEAL, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA, E. C.; SAR, E. (Ed). *Manual de métodos ficológicos*. Universidad de Concepción, Chile. p. 529-549. 1995.

- ARECES-MALLEA, A. J.; VILLANUEVA, F. C. A.; BERNARDI, J.; CABRERA, R. Ecological risk assessment of the introduction of exotic carrageenophytes in the tropical western Atlantic. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 2055-2063. 2014.
- BAGLA, P. Seaweed Invader Elicits Angst in India. *Science*, v. 320, p. 1271. 2008.
- BARRIOS, J.; BOLAÑOS, J.; LOPEZ, R. Blanqueamiento de arrecifes coralinos por la invasión de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en Isla Cubagua, Estado Nueva Esparta, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, v. 46, p. 147-152. 2007.
- BARRIOS, J. E. Dispersión del alga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales: Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, v. 44, p. 29-34. 2005.
- BULBOA, C. R.; PAULA, E. J. Introduction of non-native species of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in subtropical waters: comparative analyses of growth rates of *Kappaphycus alvarezii* and *Kappaphycus striatum* in vitro and in the sea in southeastern Brazil. *Phycological Research*, v. 53, p. 183-188. 2005.
- BULBOA, C. R.; PAULA, E. J.; CHOW, F. Germination and survival of tetraspores of *Kappaphycus alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta) introduced in subtropical waters of Brazil. *Phycological Research*, v. 56, p. 39-45. 2008.
- CABRERA, R.; UMANZOR, S.; DÍAZ-LARREA, J.; ARAÚJO, P. G. *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta): new record of an exotic species for the Caribbean coast of Costa Rica. *American Journal of Plant Science*, v. 1, p. 1888-1902. 2019.
- CASTELAR, B.; REIS, R. P.; MOURA, A. L.; KIRK, R. Invasive potential of *Kappaphycus alvarezii* off the south coast of Rio de Janeiro state, Brazil: a contribution to environmentally secure cultivation in the tropics. *Botanica Marina*, v. 52, p. 283-289. 2009a.
- CASTELAR, B. M.; REIS, R. P.; BASTOS, M. Contribuição ao protocolo de monitoramento ambiental da maricultura de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva (Areschougaceae - Rhodophyta) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, v. 23, p. 613-617. 2009b.
- CASTELAR, B.; SIQUEIRA, M. F.; SÁNCHEZ-TAPIA, A.; REIS, R. P. Risk analysis using species distribution modeling to support public policies for alien alga *Kappaphycus alvarezii* aquaculture in Brazil. *Aquaculture*, v. 446, p. 217-226. 2015.

- CHANDRASEKARAN, S. *et al.* Bioinvasion of *Kappaphycus alvarezii* on corals in the Gulf of Mannar, India. *Current Science*, v. 94, p. 1167-1172. 2008.
- CONKLIN, E. J.; SMITH, J. E. Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kane'ohē Bay, Hawaii and an experimental assessment of management options. *Biological Invasions*, v. 7, p. 1029-1039. 2005.
- CONKLIN, K. Y.; KURIHARA, A.; SHERWOOD, A. R. A molecular method for identification of the morphologically plastic invasive algal genera *Eucheuma* and *Kappaphycus* (Rhodophyta, Gigartinales) in Hawaii. *Journal of Applied Phycology*, v. 21, p. 691-699. 2009.
- EDWARDS, P. Illustrated guide to the seaweeds and seagrasses in the vicinity of Porto Aransas, Texas. *Contributions in Marine Science*, v. 15, p. 1-228. 1970.
- GÓES, H. G.; REIS, R. P. Temporal variation of the growth, carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated at Sepetiba bay, Southeastern Brazilian coast. *Journal of Applied Phycology*, v. 24, p. 173-180. 2012.
- HAYASHI, L. *et al.* *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougiaceae) cultivated in subtropical waters in Southern Brazil. *Journal of Applied Phycology*, v. 23, p. 337-343. 2011.
- HURTADO, A. Q.; NEISH, I. C.; CRITCHLEY, A. T. Phyconomy: the extensive cultivation of seaweeds, their sustainability and economic value, with particular reference to important lessons to be learned and transferred from the practice of eucheumatoid farming. *Phycologia*, v. 58, p. 472-483. 2019.
- KAMALAKANNAN, B. *et al.* *Turbinaria* sp. as victims to *Kappaphycus alvarezii* in reefs of Gulf of Mannar, India. *Coral Reefs*, v. 29, p. 1077. 2010.
- PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OHNO, M. Strain selection in *Kappaphycus alvarezii* var. *alvarezii* (Soliericeae, Rhodophyta) using tetraspores progeny. *Journal of Applied Phycology*, v. 11, p. 111-121. 1999.
- PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OHNO, M. Growth rate of carragenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical Waters of São Paulo State, Brazil. *Phycological Research*, v. 50, p. 1-9. 2002.
- PAULA, E. P.; ERBERT, C.; PEREIRA, R. T. L. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) *in vitro*. *Phycological Research*, v. 49, p. 155-161. 2001.

SCHAFFELKE, B.; HEWITT, C. L. Impacts of introduced seaweeds. *Botanica Marina*, v. 50, p. 397-417. 2007.

SELLERS, A. J.; SALTONSTALL, K.; DAVIDSON, T. M. The introduced alga *Kappaphycus alvarezii* (Doty ex P. C. Silva, 1996) in abandoned cultivation Sites in Bocas del Toro, Panama. *BioInvasions Records*, v. 4, p. 1-7. 2015.

SILVA, B. N. T.; AMANCIO, C. E.; OLIVEIRA, E. C. Exotic marine macroalgae on the Brazilian coast: a revision. *Oecologia Australis*, v. 14, p. 403-414. 2010.

YOKOYA, N. S. Apical callus formation and plant regeneration controlled by plant growth regulators on axenic culture of the red alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta). *Phycological Research*, v. 48, p. 133-142. 2000.

ZUCCARELLO, G. C.; CRITCHLEY, A. T.; SMITH, J.; SIEBER, V.; LHONNEUR, G. B.; WEST, J. A. Systematics and genetic variation in commercial *Kappaphycus* and *Eucheuma* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, v. 18, p. 643-651. 2006.

Dinoflagelados potencialmente tóxicos associados às macroalgas

ANGEL R. MOREIRA GONZÁLEZ / LUIZ L. MAFRA JR. /
LUCIANO F. FERNANDES

INTRODUÇÃO

Os dinoflagelados são importantes componentes da diversidade biológica e peças fundamentais na dinâmica dos ecossistemas bentônicos marinhos. São organismos aptos a realizar fotossíntese mesmo sob baixa intensidade luminosa e, em muitos casos, são mixotróficos, assumindo, portanto, grande importância como produtores primários nos ecossistemas costeiros. Dessa forma, contribuem amplamente com a fixação do carbono e produzem o oxigênio dissolvido que é utilizado na respiração de peixes e outros organismos marinhos (HOPPENRATH *et al.*, 2014).

No entanto, alguns dinoflagelados epibentônicos produzem potentes toxinas que podem causar danos aos organismos marinhos e aos seres humanos, por meio da ingestão de organismos contaminados, do contato direto com a pele, ou pela exposição ao *spray* marinho contaminado com células de dinoflagelados tóxicos (BERDALET *et al.*, 2016, 2017). Entre os dinoflagelados bêmicos, cerca de 30 espécies de vários gêneros são capazes de produzir toxinas, em particular os representantes da ordem Gonyaulacales: *Fukuyoa* F. Gómez, D. X. Qiu, R. M. Lopes & Senjie Lin, *Gambierdiscus* R. Adachi & Y. Fukuyo, *Ostreopsis* Johs.Schmidt, *Coolia* A. Meunier e *Alexandrium* Halim; além de outros gêneros tecados, como *Prorocentrum* Ehrenberg e *Vulcanodinium* E. Nézan & N. Chomérat, e o atecado *Amphidinium* Claperède & Lachmann (Tabela 1) (HOPPENRATH *et al.*, 2014).

Diferentes tipos de toxina têm sido detectados em diversas espécies de dinoflagelados bêmicos marinhos, sendo as mais conhecidas e potentes as ciguatoxinas, as maitotoxinas (*Gambierdiscus* spp.) e a palitoxina e toxinas análogas (*Ostreopsis* spp.) (CIMINIELLO *et al.*, 2010; LENOIR *et al.*, 2004; MURATA *et al.*, 1989; NAKAJIMA *et al.*, 1981; USAMI *et al.*, 1995). Outras toxinas conhecidas, produzidas por esses organismos, são as hemolisinas/amphidiniols (*Amphidinium carterae* Hulburt) (NAKAJIMA *et al.*, 1981; YASUMOTO *et al.*, 1987), cooliatoxinas (*Coolia tropicalis* M. A. Faust) (HOLMES *et al.*, 1995) e as toxinas diarreicas ácido ocadáico e dinophysistoxinas (*Prorocentrum* spp.) (MURAKAMI *et al.*, 1982). Além disso, algumas espécies de dinoflagelados bêmicos podem produzir outros compostos tóxicos, como a goniodomina (*Alexandrium hiranoi* Kita & Fukuyo) (MURAKAMI *et al.*, 1998) e os pertencentes ao grupo de iminas cíclicas (toxinas lipofílicas emergentes), como pinnatoxinas (*Vulcanodinium rugosum* Nézan

& Chomérat) (HESS *et al.*, 2013; RHODES *et al.*, 2010; SELWOOD *et al.*, 2010), proro-centrolídeos e espiroprorocentriminas (*Prorocentrum* spp.) (HU *et al.*, 1993; LU *et al.*, 2001; TORIGOE *et al.*, 1988).

Os dinoflagelados bênticos marinhos potencialmente tóxicos são conhecidos principalmente por ocorrerem em regiões de clima tropical e subtropical, embora algumas espécies dos gêneros *Amphidinium*, *Ostreopsis*, *Prorocentrum* e *Vulcanodinium* também ocorram em regiões temperadas (PISTOCCHI *et al.*, 2011, SELINA; LEVCHENKO, 2011). Esses organismos são geralmente encontrados associados às macroalgas, às grammas ou a outros substratos, como sedimentos e corais mortos (ALIGIZAKI *et al.*, 2008; FUKUYO, 1981; MORTON; FAUST, 1997; PEARCE *et al.*, 2001). O relacionamento epífito entre os dinoflagelados e suas macroalgas hospedeiras pode ser vantajoso para os dinoflagelados de várias maneiras. Por exemplo, os dinoflagelados podem utilizar a estrutura tridimensional de uma macroalga para minimizar a exposição à luz, permitindo-se prosperar em áreas rasas e fortemente iluminadas de regiões tropicais, apesar da sua intolerância a altos níveis de luz. Adicionalmente, tem-se demonstrado que os dinoflagelados nadam perto do talo da macroalga e rapidamente aderem à superfície das macroalgas para não se dispersarem, quando uma perturbação repentina ou um movimento forte da água ocorre. Outra possível vantagem para os dinoflagelados é o complemento nutricional que as macroalgas hospedeiras podem oferecer, especialmente àqueles que vivem em um ambiente oligotrófico como os recifes de coral (GRZEBYK *et al.*, 1994; NAKAHARA *et al.*, 1996; VILLAREAL; MORTON, 2002).

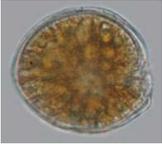
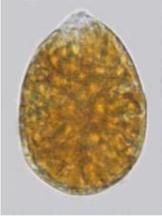
Nas últimas décadas, tem havido um incremento na frequência, na intensidade e na distribuição geográfica das florações algais bentônicas nocivas em áreas subtropicais e temperadas. Por exemplo, extensas florações de *Ostreopsis* têm causado o envenenamento e a morte de ouriços-do-mar, além de outros danos à fauna marinha e alterações nos ecossistemas marinhos nas costas de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil (FERREIRA, 2006; GRANÉLI *et al.*, 2002; NASCIMENTO *et al.*, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2010), da Nova Zelândia (SHEARS; ROSS, 2009) e do Mar Mediterrâneo. Nessa última região, além de prejuízos à fauna, as florações de *Ostreopsis* também causaram intoxicações em humanos, provocando irritações na pele e problemas respiratórios (CIMINIELLO *et al.*, 2008; DEEDS; SCHWARTZ, 2010; DURANDO *et al.*, 2007;

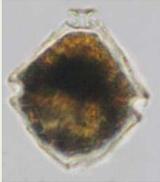
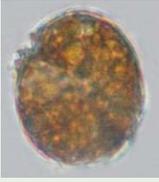
MANGIALAJO *et al.*, 2008; SANSONI *et al.*, 2003). Apesar de mais abundantes em regiões tropicais e subtropicais, o gênero *Ostreopsis* tem sido reportado em outras áreas em zonas temperadas, como Japão e Rússia (OMURA *et al.*, 2010; SELINA; ORLOVA, 2010; TANIYAMA *et al.*, 2003).

Da mesma forma, a ciguatera era tradicionalmente considerada uma intoxicação tipicamente tropical, porém vários casos têm sido atualmente reportados em áreas subtropicais e temperadas, como a região da Micronésia-Macaronésia (PÉREZ-ARELLANO *et al.*, 2005) e do Mediterrâneo (ALIGIZAKI; NIKOLAIDIS, 2008). Vários relatos indicam que espécies do gênero *Gambierdiscus* e *Fukuyoa* F. Gómez, D. X. Qiu, R. M. Lopes & Senjie Lin, organismos causadores da ciguatera, também estão aumentando sua extensão biogeográfica em áreas subtropicais e temperadas (JEONG *et al.*, 2012).

As evidências do aumento da ocorrência de dinoflagelados bênticos tóxicos, sobretudo *Ostreopsis* e *Gambierdiscus*, em águas subtropicais e temperadas, têm sido interpretadas como uma provável consequência das mudanças climáticas nos oceanos (FRAGA *et al.*, 2012; GINGOLD *et al.*, 2014; GRANÉLI *et al.*, 2011; HATAYAMA *et al.*, 2011; JEONG *et al.*, 2012; MANGIALAJO *et al.*, 2011; OMURA *et al.*, 2010; RHODES, 2011; TESTER *et al.*, 2010). Além dos efeitos do aquecimento global, há indícios de que, devido aos efeitos da eutrofização e da deterioração dos ecossistemas bentônicos costeiros, a abundância de espécies tóxicas do gênero *Prorocentrum* tem aumentado em ecossistemas tropicais, levando a alterações na estrutura da comunidade microfitobentônica em geral (SKINNER *et al.*, 2013). Sendo assim, no futuro, os problemas de saúde associados a dinoflagelados bênticos poderão se exacerbar ainda mais, caso sejam mantidas ou elevadas as pressões antropogênicas, como o aumento do desenvolvimento das zonas costeiras e o aquecimento dos oceanos, e/ou a incidência de desastres naturais, como furacões. Essas pressões podem levar a danos em ecossistemas bentônicos tropicais como os recifes de coral, favorecendo a colonização de macroalgas mais resistentes que sirvam de substratos para a proliferação dos dinoflagelados bênticos tóxicos (CHATEAU-DEGAT *et al.*, 2005; KIBLER *et al.*, 2015; TESTER *et al.*, 2010; VILLAREAL *et al.*, 2007).

Tabela 7.1 Principais dinoflagelados bênticos tóxicos conhecidos e os sintomas causados, listados em ordem decrescente de toxicidade. Obsevação: as figuras são apenas representações das formas das algas. As escalas encontram-se na Figura 7.1.

GÊNEROS/ESPÉCIES TÓXICAS	FIGCOTOXINAS PRODUZIDAS	INTOXICAÇÕES ASSOCIADAS	SINTOMAS E VIAS DE EXPOSIÇÃO	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA
<p><i>Gambierdiscus</i> spp., <i>Fukuyoa</i> spp.</p> 	Ciguatoxinas e maitotoxinas	Ciguatera	Náuseas, vômitos, diarreia, entorpecimento da boca e das extremidades; sintomas neurológicos que podem persistir por vários meses. A principal via de exposição é o consumo de peixes de recife de coral contaminados	Áreas tropicais e subtropicais; em expansão para regiões temperadas
<p><i>Ostreopsis</i> spp.</p> 	Palytoxinas, ovatoxinas, ostreocinas	Palitoxicose	Envenenamento de origem alimentar: fortes distúrbios neurodigestivos como náuseas, vômitos, diarreia intensa, formigamento nos lábios e na boca, espasmos e dores musculares, perda de sensibilidade tátil, redução na frequência cardíaca, dificuldade respiratória. Exposição aos aerossóis: irritação nos olhos e nariz, febre, irritação cutânea em banhistas	Principalmente em áreas tropicais e subtropicais; em expansão para regiões temperadas
<p><i>Prorocentrum lima</i></p> 	Ácido ocadaico e seus derivados (dinophysistoxinas)	Intoxicação diarreica (DSP)	Náuseas, vômitos, diarreia intensa, dores abdominais fortes; dificuldade respiratória	Cosmopolita

GÊNEROS/ESPÉCIES TÓXICAS	FICOTOXINAS PRODUZIDAS	INTOXICAÇÕES ASSOCIADAS	SINTOMAS E VIAS DE EXPOSIÇÃO	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA
<p><i>Vulcanodinium rugosum</i></p> 	Pinnatoxinas	Intoxicação por toxinas de ação rápida	Rápida mortalidade observada em bioensaio com camundongos para biotoxinas lipofílicas	Provavelmente cosmopolita
<p><i>Coolia</i> spp.</p> 	Cooliatoxina e análogos da yessotoxina	Intoxicação por toxinas com propriedades citotóxicas e hemolíticas	Efeitos tóxicos demonstrados em bioensaios com camundongos	Cosmopolita
<p><i>Amphidinium</i> spp.</p> 	Amphidinols	Intoxicação por toxinas com propriedades hemolíticas e antifúngicas	Associados a eventos tóxicos para peixes	Cosmopolita

DIVERSIDADE DA COMUNIDADE DE DINOFLAGELADOS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO LITORAL DE PERNAMBUCO

Sete espécies pertencentes a cinco gêneros de dinoflagelados potencialmente tóxicos foram registradas: *Amphidinium*, *Coolia*, *Gambierdiscus*, *Ostreopsis* e *Prorocentrum* (Figura 7.1), conforme sinopse abaixo:

Ordem Gymnodiniales
 Família Amphidiniaceae
Amphidinium operculatum Claparède & Lachmann
 Ordem Gonyaulacales
 Família Ostreopsidaceae
Coolia malayensis Leaw, P.-T. Lim & Usup
Gambierdiscus R. Adachi & Y. Fukuyo
Ostreopsis cf. *ovata* Y. Fukuyo
 Ordem Procentrales
 Família Procentraceae
Prorocentrum emarginatum Y. Fukuyo
Prorocentrum lima (Ehrenberg) F. Stein
Prorocentrum mexicanum Osório-Tafall

Amphidinium operculatum Claparède & Lachmann

Localidade-tipo: Noruega, Europa

Dinoflagelado bêntico atecado, solitário. Células elipsoidais, dorsoventralmente comprimidas. Epicone pequeno em forma triangular. Duas projeções curvas em formato de pinças circundam o epicone, conferindo às células seu contorno elíptico. Numerosos pequenos cloroplastos amarelos-dourados irradiam do centro para a periferia. Um pirenóide com um anel de amido está por vezes visível no centro da célula. O núcleo está localizado na parte posterior. Comprimento: 20 µm a 33 µm. Largura: 16 µm a 27 µm.

Distribuição: *Amphidinium operculatum* tem uma distribuição cosmopolita (HOPPENRATH *et al.*, 2014; MURRAY *et al.*, 2004; SABUROVA *et al.*, 2009). No presente estudo, a maior abundância de *Amphidinium operculatum* foi registrada na praia do Paiva, sobre a feofíceia *Sargassum vulgare* C. Agardh.

Toxicidade: algumas cepas de *Amphidinium operculatum* têm demonstrado produzir compostos hemolíticos (Amphidinols), que podem ser tóxicos para peixes e invertebrados marinhos (YASUMOTO *et al.*, 1987).

Gambierdiscus sp.

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células grandes, comprimidas no eixo antero-posterior, com numerosos cloroplastos amarelo-amarronzados. Células arredondadas na vista apical, lenticulares na vista ventral, e o deslocamento cingular descendente à direita da célula. Comprimento: 83 µm a 87 µm. Largura: 94 µm a 99 µm.

Distribuição: *Gambierdiscus* é um gênero de ampla distribuição em águas de áreas tropicais e subtropicais (HOPPENRATH *et al.*, 2014). Há evidências de que as espécies de *Gambierdiscus* podem estar se expandindo para águas temperadas (JEONG *et al.*, 2012). Para o Brasil, a presença de *Gambierdiscus* já foi anteriormente reportada nos estados da Bahia, de Pernambuco e do Rio de Janeiro (DINIZ *et al.*, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2012; 2015). No presente estudo, *Gambierdiscus* sp. esteve associado principalmente às feofíceas e rodofíceas nas áreas de mergulho da Ilha de Itamaracá e de Porto de Galinhas.

Toxicidade: espécies de *Gambierdiscus* produzem as potentes neurotoxinas ciguatoxinas (CTXs) e maitotoxinas (MTXs) e seus análogos, associadas à intoxicação conhecida como ciguatera (YASUMOTO *et al.*, 1977; YASUMOTO, 2005; HOLLAND *et al.*, 2013). A ciguatera é a mais importante intoxicação de origem não bacteriana transmitida por alimentos (frutos do mar) em escala global, e que ainda não havia sido oficialmente relatada no Brasil.

Coolia malayensis Leaw

Localidade-tipo: Malásia, Ásia

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células globulares ou em forma de lente, ligeiramente comprimidas anteroposteriormente, e obliquamente arredondadas em vista lateral, contendo numerosos cloroplastos marrom-dourados. Núcleo localizado na parte dorsal da hipoteca. Poro apical alongado-curvo e deslocado para o lado dorsal esquerdo da epiteca, inclinando o eixo da célula dorsoventralmente. Em vista apical, a epiteca é ligeiramente menor que a hipoteca. Superfície da teca lisa com poros redondo-ovais espalhados. Comprimento: 24 μm a 38 μm . Largura: 20 μm a 34 μm .

Distribuição: *C. malayensis* tem uma distribuição cosmopolita circuntropical e baixo grau de endemismo (GÓMEZ *et al.*, 2016, LEAW *et al.*, 2016). Até onde se sabe, sua ocorrência foi reportada para o estado de São Paulo, Sudeste do Brasil (GÓMEZ *et al.*, 2016). No presente estudo, *C. malayensis* esteve associada principalmente às feofíceas e rodofíceas nas áreas de mergulho da Ilha de Itamaracá e de Porto de Galinhas. Foi encontrada também sobre a feofíceia *Padina* sp., na praia de Toquinho.

Toxicidade: as espécies de *Coolia* têm demonstrado produzir biotoxinas, como confirmado por bioensaios de citotoxicidade e ensaios hemolíticos (KARAFAS *et al.*, 2015). A cooliatoxina, um análogo de yessotoxina, foi a primeira toxina descrita e relatada para algumas cepas de *Coolia* (*C. tropicalis* Faust) (HOLMES *et al.*, 1995). Recentemente, cinco análogos de yessotoxina foram caracterizados quimicamente a partir de *C. malayensis* (WAKEMAN *et al.*, 2015). Embora não haja relatos de efeitos tóxicos em seres humanos associados a *Coolia*, efeitos toxicológicos observados em camundongos (PAZ *et al.*, 2008; SUÁREZ-KORSNES *et al.*, 2014; KARAFAS *et al.*, 2015) sugerem o risco de intoxicação humana.

Ostreopsis cf. ovata Y. Fukuyo (1981, p. 971, Figuras 35-38)

Localidade-tipo: Polinésia Francesa, Oceano Pacífico

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células de forma lenticular e afiladas em vista apical, anterior-posteriormente comprimidas. Numerosos cloroplastos dourados e às vezes dois vacúolos vermelhos localizados no lado dorsal da célula. Núcleo grande e oval situado na região posterior. Presença de uma teca delicada, lisa e coberta com pequenos poros espaçados. Comprimento: 40 µm a 55 µm. Largura: 27 µm a 37 µm.

Distribuição: *Ostreopsis cf. ovata* se encontra principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, embora tenha sido descrita também em regiões temperadas (LASSUS *et al.*, 2016; GUIRY; GUIRY, 2021). No Brasil, sua ocorrência foi reportada nos estados de Pernambuco (NASCIMENTO, 2006), da Bahia (PROENÇA *et al.*, 2010), do Rio de Janeiro (GRANÉLI *et al.*, 2002; FERREIRA, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2008, 2010), de São Paulo (NAVES; FREITAS, 2001) e de Santa Catarina (SILVA *et al.*, 2006; TIBIRIÇÁ *et al.*, 2010). No presente estudo, a maior densidade de *Ostreopsis cf. ovata* foi registrada na Reserva do Paiva, sobre a rodófitica *Hypnea pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M. C. Oliveira e a feofítica *Sargassum vulgare*.

Toxicidade: *Ostreopsis cf. ovata* produz palitoxina e congêneres (ex., ovatoxina-a, -b, -c, -d/-e, -f) (CIMINIELLO *et al.*, 2010). A palitoxina é uma das toxinas marinhas mais letais conhecidas. Além disso, *O. cf. ovata* é uma espécie formadora de florações nocivas. Densas florações de *O. cf. ovata* ocorreram na costa de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, nos verões de 1999 e 2002, as quais causaram envenenamento e morte de ouriços-do-mar (FERREIRA, 2006; GRANÉLI *et al.*, 2002).

Prorocentrum emarginatum Y. Fukuyo (1981, p. 968, Figuras 8-12, 48)

Localidade-tipo: Ilhas Ryukyu, Oceano Pacífico

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células arredondadas a ovoides em vista valvar, assimétricas. Área periflagelar profunda, estreita, em forma de “V”. Superfície da

teca lisa, com poros dispostos em linhas radiais, exceto no centro da valva. Células apresentam numerosos cloroplastos dourado-amarronzados, e algumas um pirenoide no centro. Núcleo localizado posteriormente. Comprimento: 32 μm a 37 μm . Largura: 27 μm a 32 μm .

Distribuição: *Prorocentrum emarginatum* é uma espécie distribuída em áreas tropicais e temperadas (GUIRY; GUIRY, 2023). No Brasil, foi anteriormente reportada para o litoral do Rio de Janeiro (NASCIMENTO *et al.*, 2008). No presente estudo, a maior densidade de *P. emarginatum* foi registrada na praia de Toquinho, sobre a rodofícea *Cryptonemia crenulata* (J. Agardh) J. Agardh e a feofíceia *Padina* sp.

Toxicidade: a toxicidade de *P. emarginatum* não é totalmente reconhecida. Baixa atividade hemolítica foi encontrada em cepas provenientes do Oceano Índico (MORTON *et al.*, 2000).

Prorocentrum lima (Ehrenberg) F. Stein

Localidade-tipo: Itália, Mar Mediterrâneo

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células ovoides, lateralmente comprimidas. Área periflagelar em forma de V. Um proeminente pirenoide com um anel de amido é visível no centro da célula, em microscopia de luz. Numerosos cloroplastos verdes-dourados irradiam do pirenoide para a periferia. O núcleo oval alongado está localizado na parte posterior. A superfície das valvas é lisa, com um anel de poros marginais e poros espalhados na superfície, exceto no centro. Comprimento: 38 μm a 43 μm . Largura: 26 μm a 30 μm .

Distribuição: *Prorocentrum lima* é uma espécie cosmopolita, distribuída em áreas tropicais e temperadas (GUIRY; GUIRY, 2023; HOPPENRATH *et al.*, 2013). Tem sido reportada em diferentes regiões do Brasil; por exemplo, no litoral de Santa Catarina, no do Rio de Janeiro e no de Pernambuco, associada a macroalgas marinhas (LIMA, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2008, 2016; PINTO-SILVA, 2005). No presente estudo, a maior densidade

de *P. lima* foi registrada na praia do Paiva, sobre as feofíceas *Sargassum vulgare* e *Spatoglossum schroederi* (C. Agardh) Kützing. Uma alta concentração de *P. lima* foi registrada também na praia de Toquinho, sobre a feofíceia *Padina* sp.

Toxicidade: todas as cepas cultivadas de *P. lima* têm sido reportadas como produtoras de toxinas diarreicas (ácido ocadaico e análogos como dinophysistoxinas) (NAGAHAMA *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2016). Durante a realização do presente projeto, uma cepa em cultivo de *P. lima* isolada, da praia do Paiva (coletada em abril de 2015), no litoral de Pernambuco, atingiu 10.06 pg cél⁻¹ de ácido ocadaico, mas não se detectaram dinophysistoxinas.

Prorocentrum mexicanum Osorio-Tafall

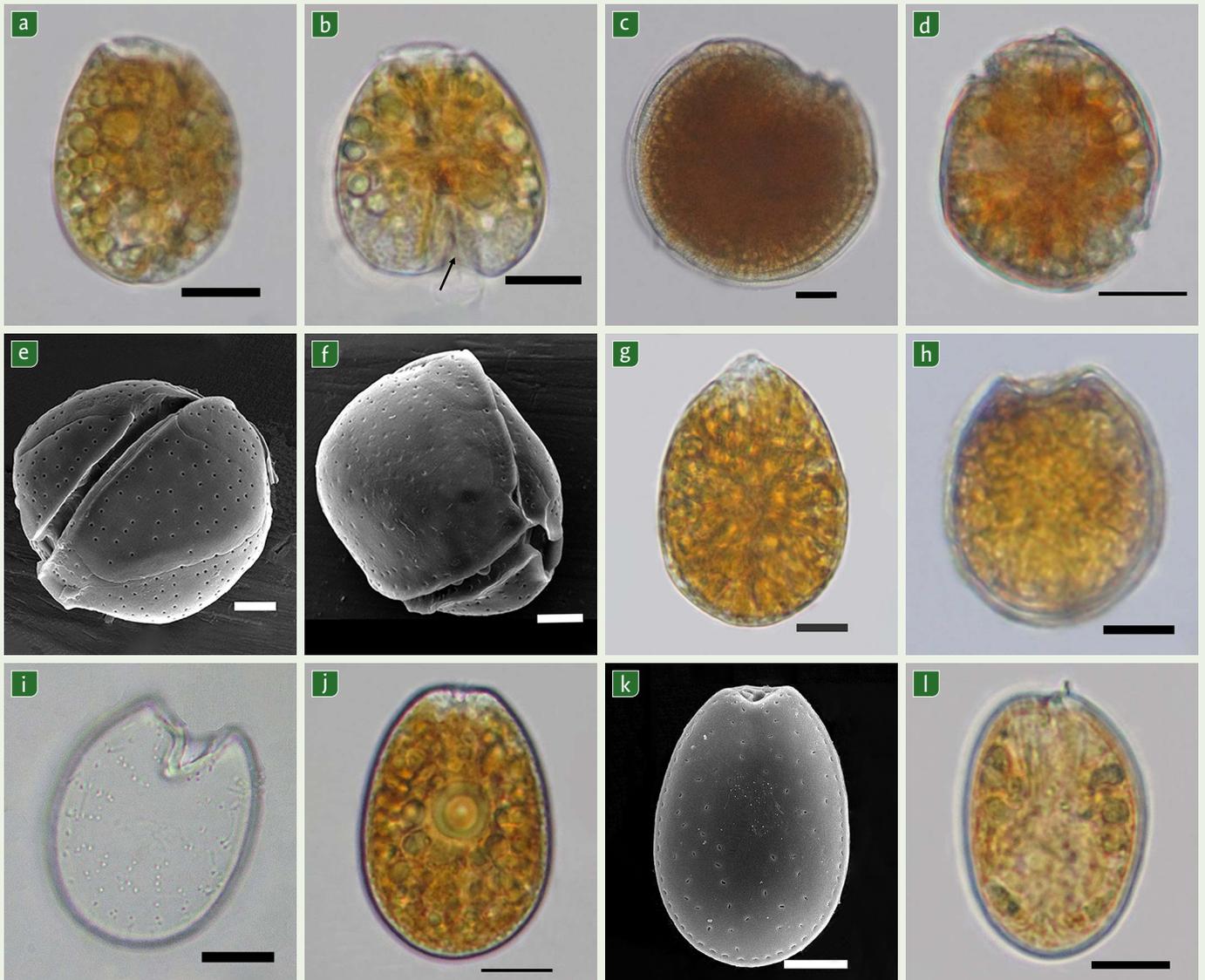
Localidade-tipo: Oaxaca, México (Pacífico)

Dinoflagelado bêntico tecado, solitário. Células ovóides a oblongas, assimétricas, maior largura na extremidade anterior ou região central em vista valvar. Cloroplasto marrom-dourado reticulado. O pirenoide às vezes é visível na região central da célula. O núcleo oval está localizado posteriormente. Área periflagelar ampla, em forma de V, abriga um colar periflagelar proeminente que aparece como um pequeno espinho.

Distribuição: *Prorocentrum mexicanum* é uma espécie de ampla distribuição, principalmente em águas tropicais e subtropicais (GÓMEZ *et al.*, 2017; GUIRY; GUIRY, 2018; LIM *et al.*, 2013), mas também foi encontrada em águas temperadas (LEVASSEUR *et al.*, 2003). Tem sido relatada em diferentes regiões do Brasil; por exemplo, no litoral de São Paulo (NAVES *et al.*, 2006), do Rio de Janeiro (NASCIMENTO *et al.*, 2008) e de Santa Catarina (MIOTTO; DA SILVA-TAMANHA, 2012). No presente estudo, a maior densidade de *P. lima* foi registrada na praia do Paiva, sobre a feofíceia *Sargassum vulgare*.

Toxicidade: algumas cepas de *P. mexicanum* produzem toxinas diarreicas (ácido ocadaico) (AN *et al.*, 2010; CAILLAUD *et al.*, 2010). As atividades hemolítica e citotóxica foram detectadas em cultivos de *P. mexicanum* da costa de São Paulo, Brasil (NAVES *et al.*, 2006), e da Austrália (PEARCE *et al.*, 2005).

Figura 7.1 Microfotografias de dinoflagelados bênticos potencialmente tóxicos associados a macroalgas em três praias do litoral de Pernambuco e no infralitoral da Ilha de Itamaracá e de Porto de Galinhas: (a-b) *Amphidinium operculatum*, a seta indica a divisão celular no dinoflagelado; (c) *Gambierdiscus* sp.; (d-f) *Coolia malayensis*; (g) *Ostreopsis* cf. *ovata*; (h-i) *Prorocentrum emarginatum*; (j-k) *Prorocentrum lima*; (l) *Prorocentrum mexicanum*. Barras das escalas = 10 µm. Fonte: Angel Moreira-González.



DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DOS DINOFLAGELADOS POTENCIALMENTE TÓXICOS NA ZONA DE ESTUDO

As espécies *Prorocentrum lima* e *Ostreopsis cf. ovata* representaram, em média, 83,3% e 30,3% da abundância total, respectivamente. Os maiores valores de abundância foram registrados na praia do Paiva, de geomorfologia mais abrigada pelo arrecife, onde *P. lima* atingiu até 1467,4 cél.g⁻¹ de peso úmido de macroalga (Figura 7.2, C). A praia do Paiva está situada em uma área de reserva, além de ter uma alta diversidade de macroalgas. Sua forma semiprotégida lhe permite uma maior estabilidade do substrato (macrofitobentos) e, portanto, um maior desenvolvimento dos dinoflagelados bênticos.

As maiores densidades dos dinoflagelados foram encontradas sobre as macroalgas marrons *Sargassum vulgare*, *Padina* sp. e *Spatoglossum schroederi* (C. Agardh) Kützing. Entre as rodofíceas, *Hypnea pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M. C. Oliveira apresentou a maior densidade de dinoflagelados (Figura 7.2). Apesar de terem sido relatados dinoflagelados bênticos tóxicos nos três grupos de macroalgas, as maiores abundâncias têm sido relatadas para rodofíceas e feofíceas. Muitas dessas macroalgas, assim como algumas feofíceas, além de oferecerem proteção física aos dinoflagelados contra os herbívoros, possuem defesa química, o que diminui ainda mais a probabilidade de serem consumidas (BOMBER; AIKMAN, 1989; CRUZ-RIVERA; VILLAREAL, 2007; GILLESPIE *et al.*, 1985).

Destacou-se, além disso, a presença do gênero *Gambierdiscus* nos locais de mergulho, dinoflagelado responsável pela ciguatera, a mais importante intoxicação de origem não bacteriana transmitida por alimentos (frutos do mar) em escala global, e que ainda não havia sido relatada oficialmente no Brasil.

Em geral, foi observada a maioria dos gêneros de dinoflagelados bênticos produtores de toxinas, mas as densidades registradas das macroalgas foram de moderadas a baixas, indicando baixa probabilidade de exposição aos efeitos deletérios das suas toxinas aos humanos e à fauna marinha. Entretanto, recomenda-se o monitoramento frequente de suas ocorrência e abundância como forma de se avaliar de modo mais abrangente e sistemático os riscos para o ambiente e para os consumidores de pescados e frutos do mar.

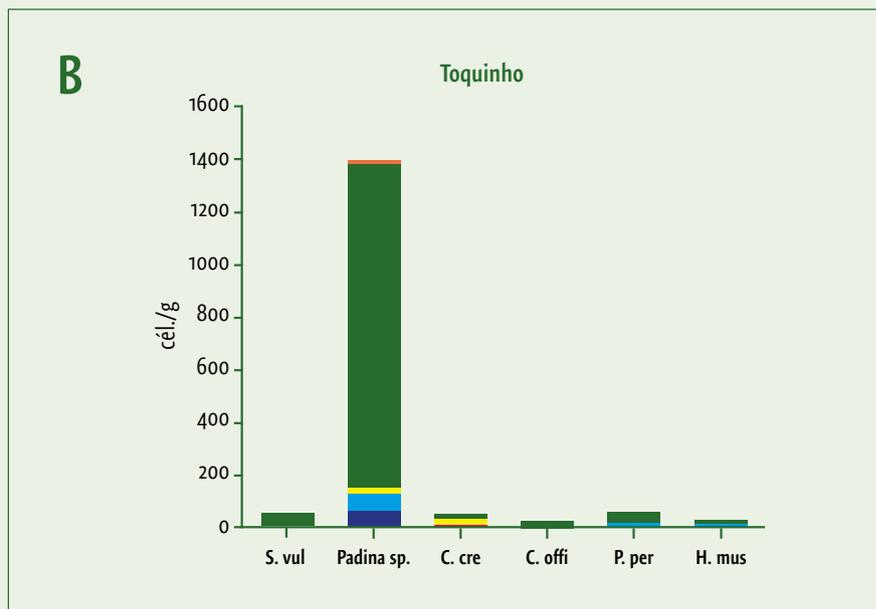
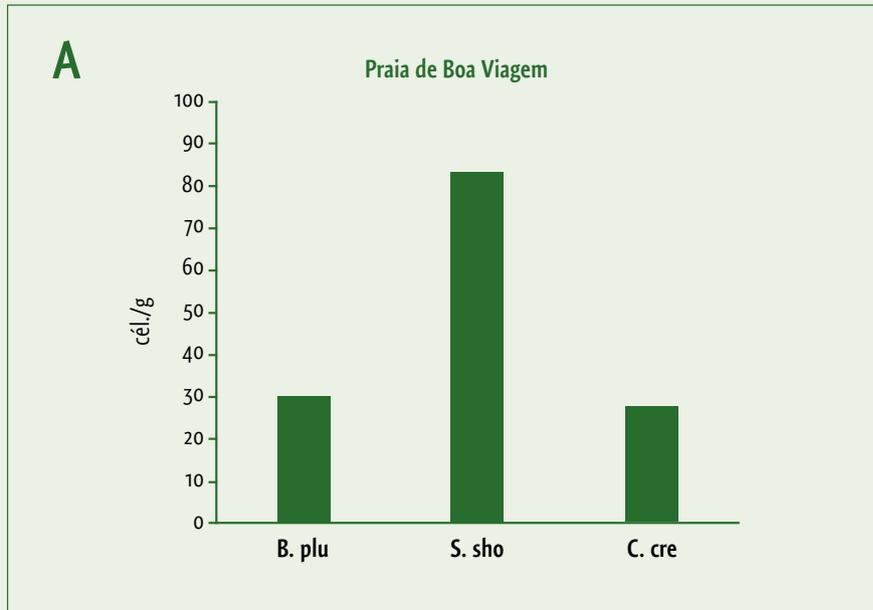
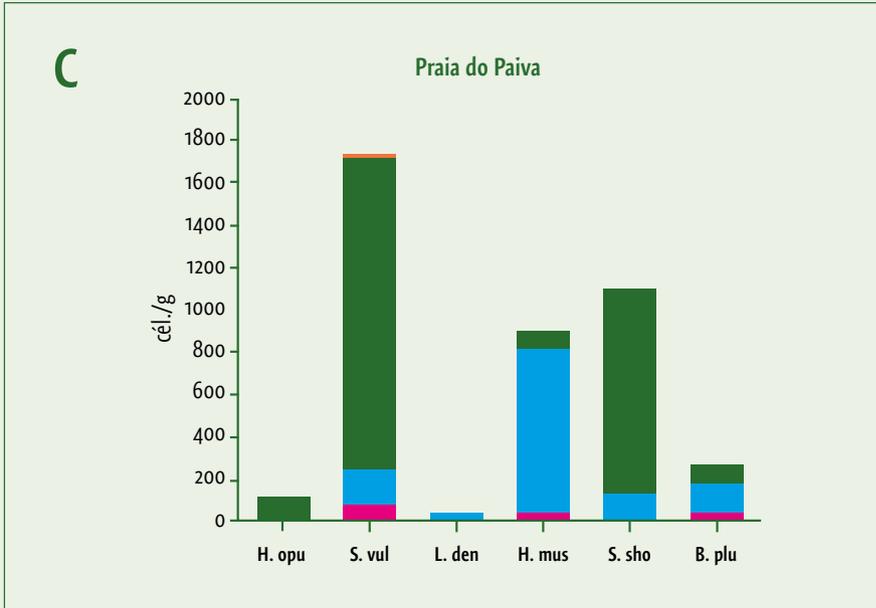


Figura 7.2 Variação da abundância dos dinoflagelados bênticos potencialmente tóxicos associados a diferentes espécies de macroalgas, nos pontos de coleta do litoral de Pernambuco: (A) praia de Boa Viagem; (B) praia de Toquinho; (C) praia do Paiva. Abreviações das macroalgas: B. plu = *Bryopsis pennata*, C. cre = *Cryptonemia crenulata*, C. off = *Corallina officinalis*, H. mus = *Hypnea pseudomusciformis*, H. opu = *Halimeda opuntia*, L. den = *Laurencia dendroidea*, P. per = *Palisada perforata*, S. sho = *Spatoglossum schroederi*, S. vul = *Sargassum vulgare*.

Fonte: Angel Moreira-González.



REFERÊNCIAS

- ALIGIZAKI, K.; NIKOLAIDIS, G. Morphological identification of two tropical dinoflagellates of the genera *Gambierdiscus* and *Sinophysis* in the Mediterranean Sea. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, v. 9, p. 75-82. 2008.
- ALIGIZAKI, K.; KATIKOU, P.; NIKOLAIDIS, G.; PANOU, A. First episode of shellfish contamination by palytoxin-like compounds from *Ostreopsis* species (Aegean Sea, Greece). *Toxicon*, v. 51, n. 3, p. 418-427. 2008.
- AN, T.; WINSHELL, J.; SCORZETTI, G.; FELL, J. W.; REIN, K. S. Identification of okadaic acid production in the marine dinoflagellate *Prorocentrum rhathymum* from Florida Bay. *Toxicon*, v. 55, p. 653-657. 2010.
- BERDALET, E.; FLEMING, L. E.; GOWEN, R.; DAVIDSON, K.; HESS, P.; BACKER, L. C.; ENEVOLDSEN, H. Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 96, n. 1, p. 61-91. 2016.
- BERDALET, E.; TESTER, P. A.; CHINAIN, M.; FRAGA, S.; LEMÉE, R.; LITAKER, W.; ZINGONE, A. Harmful algal blooms in benthic systems: recent progress and future research. *Oceanography*, v. 30, n. 1, p. 36-45. 2017.
- BOMBER, J. W.; AIKMAN, K. E. The ciguatera dinoflagellates. *Biol. Oceanogr.*, v. 6, p. 291-311. 1989.
- CAILLAUD, A.; DE LA IGLESIA, P.; CAMPAS, M.; ELANDALOUSSI, L.; FERNANDEZ, M.; MOHAMMAD-NOOR, N.; ANDREE, K.; DIOGENE, J. Evidence of okadaic acid production in a cultured strain of the marine dinoflagellate *Prorocentrum rhathymum* from Malaysia. *Toxicon*, v. 55, p. 633-637. 2010.
- CHATEAU-DEGAT, M. L.; CHINAIN, M.; CERF, N.; GINGRAS, S.; HUBERT, B.; DEWAILLY, É. Seawater temperature, *Gambierdiscus* spp. variability and incidence of ciguatera poisoning in French Polynesia. *Harmful Algae*, v. 4, n. 6, p. 1053-1062. 2005.
- CIMINIELLO, P.; DELL'AVERSANO, C.; DELL' LACOVO, E.; FATTORUSSO, E.; FORINO, M.; GRAUSO, L.; TARTAGLIONE, L.; GUERRINI, F.; PISTOCCHI, R. Complex palytoxin like profile of *Ostreopsis ovata*. identification of four new ovatoxins by high resolution liquid chromatography/mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, v. 24, p. 2735-2744. 2010.
- CIMINIELLO, P.; DELL'AVERSANO, C.; FATTORUSSO, E.; FORINO, M.; TARTAGLIONE, L.; GRILLO, C.; MELCHIORRE, N. Putative palytoxin and its new analogue, ovatoxin-a, in *Ostreopsis ovata* collected along the Ligurian coasts during the 2006 toxic outbreak. *Journal of the American Society of Mass Spectrometry*, v. 19, p. 111-120. 2008.

- CRUZ-RIVERA, E.; VILLAREAL, T. A. Macroalgal palatability and the flux of ciguatera toxins through marine food webs. *Harmful Algae*, v. 5, p. 497-525. 2006.
- DEEDS, J. R.; SCHWARTZ, M. D. Human risk associated with palytoxin exposure. *Toxicon*, v. 56, n. 2, p. 150-162. 2010.
- DINIZ, B.; FERREIRA, C. E. L.; NASCIMENTO, S. M. Ocorrência do gênero *Gambierdiscus* (Dinophyta) na costa Brasileira. In: *Anais do xiv Congresso Brasileiro de Ficologia*. xiv Congresso Brasileiro de Ficologia, João Pessoa, PB. 2012.
- DURANDO, P.; ANSALDI, F.; ORESTE, P.; MOSCATELLI, P.; MARENSI, L.; GRILLO, C.; GASPARINI, R.; ICARDI, G. *Ostreopsis ovata* and human health: epidemiological and clinical features of respiratory syndrome outbreaks from a two-year syndromic surveillance, 2005-2006, in north-west Italy. *European Surveillance*, v. 12, n. 6. DOI: <https://doi.org/10.2807/esw.12.23.03212-en>. 2007.
- FERREIRA, C. E. L. Sea urchins killed by toxic algae. *JMBA Global Marine Environment*, v. 3, p. 23-24. 2006.
- FRAGA, S.; RODRÍGUEZ, F.; BRAVO, I.; ZAPATA, M.; MARAÑÓN, E. Review of the main ecological features affecting benthic dinoflagellate blooms. *Cryptogamie Algologie*, v. 33, p. 171-179. 2012.
- FUKUYO, Y. Taxonomic study on benthic dinoflagellates collected in coral reefs. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries*, v. 41, p. 967-978. 1981.
- GILLESPIE, N. C.; HOLMES, M. J.; BURKE, J. B.; DOLEY, J. Distribution and periodicity of *Gambierdiscus toxicus* in Queensland, Australia. In: ANDERSON, D. M.; WHITE, A. W.; BADEN, D. G. (Ed.). *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier Science Publishing Co., Inc., p. 183-188. 1985.
- GINGOLD, D. B.; STRICKLAND, M. J.; HES, J. J. Ciguatera fish poisoning and climate change: analysis of National Poison Center data in the United States, 2001-2011. *Environmental Health Perspectives*, v. 122, n. 6, p. 580. 2014.
- GÓMEZ, F.; QIU, D.; LIN, S. The Synonymy of the toxic dinoflagellates *Prorocentrum mexicanum* and *P. rathymum* and the description of *P. steidingerae* sp. nov. (Prorocentrales, Dinophyceae). *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. 64, n. 5, p. 668-677. 2017.
- GÓMEZ, F.; QIU, D.; OTERO-MORALES, E.; LOPES, R. M.; LIN, S. Circumtropical distribution of the epiphytic dinoflagellate *Coolia malayensis* (Dinophyceae): morphology and molecular phylogeny from Puerto Rico and Brazil. *Phycological Research*, v. 64, n. 3, p. 194-199. 2016.
- GRANÉLI, E.; FERREIRA, C. E. L.; YASUMOTO, T.; RODRIGUES, E.; NEVES, M. H. B. Sea urchins poisoning by the benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata* on the Brazilian coast. In: *10th International Conference on Harmful Algae*, St. Petersburg, Florida, EUA. p. 113. 2002.

- GRANÉLI, E.; VIDYARATHNA, N. K.; FUNARI, E.; CUMARANATUNGA, P. R. T.; SCENATI, R. Can increases in temperature stimulate blooms of the toxic benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata*?. *Harmful Algae*, v. 10, n. 2, p. 165-172. 2011.
- GRZEBYK, D.; BERLAND, B.; THOMASSIN, B. A.; BOSI, C.; ARNOUX, A. Ecology of ciguateric dinoflagellates in the coral reef complex of Mayotte Island (sw Indian Ocean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 178, p. 51-66. 1994.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 29 jul. 2021.
- HATAYAMA, Y.; ISHIKAWA, A.; NATSUIKE, M.; TAKEICHI, Y.; AJISAKA, T.; SAWAYAMA, S.; IMAI, I. First report of the benthic dinoflagellate of the genus *Gambierdiscus* from western Wakasa Bay in the Sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, v. 77, p. 685-687. 2011
- HESS, P.; ABADIE, E.; HERVÉ, F.; BERTEAUX, T.; SÉCHET, V.; ARAOZ, R.; MOLGO, J.; ZAKARIAN, A.; SIBAT, M.; RUNDBERGET, T.; MILES, C. O.; AMZIL Z. Pinnatoxin G is responsible for atypical toxicity in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and clams (*Venerupis decussata*) from Ingril, a French Mediterranean lagoon. *Toxicon*, v. 75, p. 16. 2013.
- HOLLAND, W. C.; LITAKER, R. W.; TOMAS, C. R.; KIBLER, S. R.; PLACE, A. R.; DAVENPORT, E. D.; TESTER, P. A. Differences in the toxicity of six *Gambierdiscus* (Dinophyceae) species measured using an in vitro human erythrocyte lysis assay. *Toxicon*, v. 65, p. 15-33. 2013.
- HOLMES, M. J.; LEWIS, R. J.; JONES, A.; HOY, A. W. W. Cooliatoxin, the first toxin from *Coolia monotis* (Dinophyceae). *Natural Toxins*, v. 3, n. 5, p. 355-362. 1995.
- HOPPENRATH, M.; CHOMÉRAT, N.; HORIGUCHI, T.; SCHWEIKERT, M.; NAGAHAMA, Y.; MURRAY, S. Taxonomy and phylogeny of the benthic *Prorocentrum* species (Dinophyceae): a proposal and review. *Harmful Algae*, v. 27, p. 1-28. 2013.
- HOPPENRATH, M.; MURRAY, S. A.; CHOMÉRAT, N.; HORIGUCHI, T. *Marine benthic dinoflagellates-unravelling their worldwide biodiversity*. Kleine Senckenberg-Reihe, p. 276. 2014.
- HU, T.; FREITAS, A. S. W. DE; DOYLE, J.; JACKSON, D.; MARR, J.; NIXON, E.; PLEASANCE, S.; QUILLIAM, M. A.; WALTER, J. A.; WRIGHT, J. L. C. New DSP toxin derivatives isolated from toxic mussels and the dinoflagellates, *Prorocentrum lima* and *Prorocentrum concavum*. In: SMAYDA, T. J.; SHIMIZU, Y. (Ed.). *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Elsevier, Amsterdam, p. 507-512. 1993.
- JEONG, H. J.; LIM, A. S.; JANG, S. H.; YIH, W. H.; KANG, N. S.; LEE, S. Y.; KIM H. S. First report of the epiphytic dinoflagellate *Gambierdiscus caribaeus* in the temperate waters off Jeju Island, Korea: morphology and molecular characterization. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. 59, n. 6, p. 637-650. 2012.

- KARAFAS, S.; YORK, R.; TOMAS, C. Morphological and genetic analysis of the *Coolia monotis* species complex with the introduction of two new species, *Coolia santacroce* sp. nov. and *Coolia palmyrensis* sp. nov. (Dinophyceae). *Harmful Algae*, v. 46, p. 18-33. 2015.
- KIBLER, S. R.; TESTER, P. A.; KUNKEL, K. E.; MOORE, S. K.; LITAKER, W. Effects of ocean warming on growth and distribution of dinoflagellates associated with ciguatera fish poisoning in the Caribbean. *Ecological Modeling*, v. 316, p.194-210. 2015.
- LASSUS, P.; CHOMÉRAT, N.; HESS, P.; NÉZAN, E. Toxic and harmful microalgae of the World Ocean. Micro-algues toxiques et nuisibles de l'Océan Mondial. *IOC Manuals and guides*. Denmark: International Society for the Study of Harmful Algae/Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. p. 523. 2016.
- LEAW, C. P.; TAN, T. H.; LIM, H. C.; TENG, S. T.; YONG, H. L.; SMITH, K. F.; LITAKER, R. W. 2016. New scenario for speciation in the benthic dinoflagellate genus *Coolia* (Dinophyceae). *Harmful Algae*, v. 5, p. 137-149. 2016.
- LENOIR, S.; TEN-HAGE, L.; TURQUET, J.; QUOD, J. P.; BERNARD, C.; HENNION M. C. First evidence of palytoxin analogues from an *Ostreopsis mascarenensis* (Dinophyceae) benthic bloom in South-western Indian Ocean. *Journal of Phycology*, v. 40, n. 6, p. 1042-1051. 2004.
- LEVASSEUR, M.; COUTURE, J. Y.; WEISE, A.; MICHAUD, S.; ELBRACHTER, M.; SALVE, G.; BONNEAU, E. Pelagic and epiphytic summer distributions of *Prorocentrum lima* and *P. mexicanum* at two mussel farms in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 30, n. 3, p. 283-29. 2003.
- LIM, A. S.; JEONG, H. J.; JANG, T. Y.; KANG, N. S.; LEE, S. Y.; YOO, Y. D.; KIM, H. S. Morphology and molecular characterization of the epiphytic dinoflagellate *Prorocentrum* cf. *rhathymum* in temperate waters off Jeju Island, Korea. *Ocean Science Journal*, v. 48, n. 1, p. 1-17. 2013.
- LIMA, J. C. *Dinâmica do fitoplâncton e microfítobentos da baía do sueste, arquipélago Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. 2012.
- LU, C. K.; LEE, G. H.; HUANG, R.; CHOU, H. N. Spiro-prorocentrimine, a novel macrocyclic lactone from a benthic *Prorocentrum* sp. of Taiwan. *Tetrahedron Letters*, v. 42, n. 9, p. 1713-1716. 2001.
- MANGIALAJO, L.; BERTOLOTO, R.; CATTANEO-VIETTI, R.; CHIANTORE, M.; GRILLO, C.; LEMEE, R.; MELCHIORRE, N.; MORETTO, P.; POVERO, P.; RUGGIERI, N. The toxic benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata*: quantification of proliferation along the coastline of Genoa, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, v. 56, p. 1209-1214. 2008.
- MANGIALAJO, L.; GANZIN, N.; ACCORONI, S.; ASNAGHI, V.; BLANFUNÉ, A.; CABRINI, M.; COSTA, E. Trends in *Ostreopsis* proliferation along the Northern Mediterranean coasts. *Toxicon*, v. 57, n. 3, p. 408-420. 2011.

- MIOTTO, M. C.; DA SILVA, TAMANAHA M. Ocorrência de dinoflagelados tecados potencialmente tóxicos e nocivos em cultivos de moluscos situados no município de Penha, sc. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 16, n. 1, p. 53-67. 2012.
- MORTON, S. L.; FAUST, M. A. Survey of toxic epiphytic dinoflagellates from the Belizean barrier reef ecosystem. *Bulletin of Marine Science*, v. 61, n. 3, p. 899-906. 1997.
- MORTON, S. L.; PETITPAIN, D. L.; BUSMAN, M.; MOELLER, P. D. R. Production of okadaic acid and dinophysins toxins by different species of *Prorocentrum*. In: *ix Conference of Harmful Algal Blooms*. Hobart, p. 183. 2000.
- MURAKAMI, Y.; OKITA, Y.; MATSUDA, H.; OKINO, T.; YAMAGUCHI, K.; YASUMOTO, T. From the *Alexandrium hiraoui*. *Phytochemistry*, v. 48, p. 185-188. 1998.
- MURAKAMI, Y.; OSHIMA, Y.; YASUMOTO, T. Identification of okadaic acid as a toxic component of a marine dinoflagellate *Prorocentrum lima*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, v. 48, p. 69-72. 1982.
- MURATA, M.; LEGRAND, A. M.; YASUMOTO T. A probable partial structure of ciguatoxin isolated from the moray eel *Gymnothorax javanicus*. *Letters Tetrahedron*, v. 30, n. 29, p. 3793-3796. 1989.
- MURRAY, S.; FLØ, JØRGENSEN. M.; DAUGBJERG, N.; RHODES, L. *Amphidinium* revisited. II. Resolving species boundaries in the *Amphidinium operculatum* species complex (Dinophyceae), including the descriptions of *Amphidinium trulla* sp. nov. and *Amphidinium gibbosum* comb. nov. *Journal of Phycology*, v. 40, p. 366-382. 2004.
- NAGAHAMA, Y.; MURRAY, S.; TOMARU, A.; FUKUYO Y. Species boundaries in the toxic dinoflagellate *Prorocentrum lima* (Dinophyceae, Prorocentrales), based on morphological and phylogenetic characters. *Journal of Phycology*, v. 47, p. 178-189. 2011.
- NAKAHARA, H.; SAKAMI, T.; CHINAIN, M.; ISHIDA, Y. The role of macroalgae in epiphytism of the toxic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* (Dinophyceae). *Phycological Research*, v. 44, n. 2, p. 113-117. 1996.
- NAKAJIMA, I.; OSHIMA, Y.; YASUMOTO, T. Toxicity of benthic dinoflagellates in Okinawa. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v. 47, p. 1029-1033. 1981.
- NASCIMENTO S. M. Epiphytic dinoflagellates from the Brazilian coastline. In: *12th International Conference on Harmful Algae*. Copenhagen, Dinamarca, ISSHA, p. 248. 2006.
- NASCIMENTO, S. M.; DINIZ, S. S.; DE ALENCAR A. G.; MENEGUELI A. C.; MENEZES M. First record of the ciguatera causing genus *Gambierdiscus* in Brazil. *Harmful Algae News*, v. 45, p. 8-9. 2012.
- NASCIMENTO, S. M.; MELO, G.; SALGUEIRO, F.; DINIZ, B. D. S.; FRAGA, S. Morphology of *Gambierdiscus excentricus* (Dinophyceae) with emphasis on sulcal plates. *Phycologia*, v. 54, n. 6, p. 628-639. 2015.

NASCIMENTO, S. M.; MONTEIRO, P.; FERREIRA, C. E.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, E. *Ostreopsis ovata* blooms on Rio de Janeiro coast. *Harmful Algae News*, v. 37, p. 1-4. 2008.

NASCIMENTO, S. M.; MONTEIRO, P. O.; ALENCAR, A. G.; MENEGUELLI, A. C. Epi-benthic dinoflagellates from the Rio de Janeiro coastline, Brazil. In: *GEOHAB "Open Science Meeting on Harmful Algal Blooms in Benthic Systems"*, Honolulu, Hawaii. 2010.

NASCIMENTO, S. M.; SALGUEIRO, F.; MENEZES, M.; OLIVEIRA, F. A.; MAGALHAES, V. C. P.; DE PAULA, J. C.; MORRIS, S. *Prorocentrum lima* from the South Atlantic: Morphological, molecular and toxicological characterization. *Harmful Algae*, v. 57, p. 39-48. 2016.

NAVES, J. L.; FREITAS, J. C. Dinoflagelados portadores de toxinas no canal de São Sebastião, São Paulo. In: *xvi Simpósio de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo*, São Paulo, p. 47. 2001.

NAVES, J. L.; PRADO, M. P.; RANGEL, M.; DE SANCTIS, B.; MACHADO-SANTELLI, G.; FREITAS, J. C. Cytotoxicity in the marine dinoflagellate *Prorocentrum mexicanum* from Brazil. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, v. 143, p. 73-77. 2006.

OMURA, T.; NAGAHAMA, Y.; FUKUYO, Y. Ciguatera causative species found in main land of Japan. *GEOHAB Open Science Meeting: HABs in Benthic Systems*, Honolulu, Hawaii, USA, p. 21-23. 2010.

PAZ, B.; DARANAS, A. H.; NORTE, M.; RIOBÓ, P.; FRANCO, J. M.; FERNÁNDEZ, J. J. Yessotoxins, a group of marine polyether toxins: an overview. *Marine Drugs*, v. 6, p. 73-102. 2008.

PEARCE, I.; HANDLINGER, J. H.; HALLEGRAEFF, G. M. 2005. Histopathology in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat caused by the dinoflagellate *Prorocentrum rhathymum*. *Harmful Algae*, v. 4, p. 61-74. 2005.

PEARCE, I.; MARSHALL, J. A.; HALLEGRAEFF, G. M. Toxic epiphytic dinoflagellates from east coast Tasmania, Australia. In: HALLEGRAEFF, G. et al. (Ed.). *Proceedings of the Ninth International Conference on Harmful Algal Blooms*, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Hobart, p. 54-57. 2001.

PÉREZ-ARELLANO, J. L.; LUZARDO, O. P.; BRITO, A. P.; CABRERA, M. H.; ZUMBADO, M.; CARRANZA, C.; MORENO, A.; DICKEY, R. W.; BOADA, L. D. 2005. Ciguatera fish poisoning, Canary Islands. *Emerging Infectious Diseases*, v. 11, p. 1981-1982. 2005.

PINTO-SILVA, C. R. C. *Incidência de fitoplâncton tóxico na costa catarinense: impacto na saúde pública e no meio ambiente*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

PISTOCCHI, R.; PEZZOLESI, L.; GUERRINI, F.; VANUCCI, S.; DELL'AVERSANO, C.; FATTORUSSO, E. A review on the effects of environmental conditions on growth and toxin production of *Ostreopsis ovata*. *Toxicon*, v. 57, n. 3, p. 421-428. 2011

- PROENÇA, L. A. O.; BOEMER, G. L.; DIAS, J. P.; HATHERLY, M. M.; MENDES, I. L.; MENDES, L. A. M.; MENDES, M. C. Q.; ROSSI, W. C.; TAMANAHA, M. S.; TENENBAUM, D. R.; SCHRAMM, M. A. Can the cases of airborne intoxication of beach users in south coast of Bahia (16°24' S, 39°02' W) be related to microalgae?. In: *GEOHAB "Open Science Meeting on Harmful Algal Blooms in Benthic Systems"*, Honolulu, Hawaii. 2010.
- RHODES, L. 2011. World-wide occurrence of the toxic dinoflagellate genus *Ostreopsis* Schmidt. *Toxicon*, v. 57, p. 400-407. 2011.
- RHODES, L.; SMITH, K.; SELWOOD, A.; MCNABB, P.; VAN GINKEL R.; HOLLAND P.; MUNDAY, R. Production of pinnatoxins by a peridinoid dinoflagellate isolated from Northland, New Zealand. *Harmful Algae*, v. 9, n. 4, p. 384-389. 2010.
- SABUROVA, M.; AL-YAMANI, F.; POLIKARPOV, I. Biodiversity of free-living flagellates in Kuwait's intertidal sediments. *BioRisk*, v. 3, p. 97-110. 2009.
- SANSONI, G.; BORGHINI, B.; CAMICI, G.; CASOTTI, M.; RIGHINI, P.; RUSTIGHI, C. Fioriture algali di *Ostreopsis ovata* (Gonyaulacales: Dinophyceae): un problema emergente. *Biologia Ambientale*, v. 17, n. 1, p. 17-23. 2003.
- SELINA, M. A.; ORLOVA, T. Y. First occurrence of the genus *Ostreopsis* (Dinophyceae) in the Sea of Japan. *Botanica Marina*, v. 53, p. 243-249. 2010.
- SELINA, M. S.; LEVCHENKO, E. V. Species composition and morphology of dinoflagellates (Dinophyta) of epiphytic assemblages of Peter the Great Bay in the Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, v. 37, n. 1, p. 23-32. 2011.
- SELWOOD, A. I.; MILES, C. O.; WILKINS, A. L.; VAN GINKEL, R.; MUNDAY, R.; RISE, F.; MCNABB, P. Isolation, structural determination and acute toxicity of pinnatoxins E, F and G. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 10, p. 6532-6542. 2010.
- SHEARS, N. T.; ROSS, P. M. Blooms of benthic dinoflagellates of the genus *Ostreopsis*: an increasing and ecologically important phenomenon on temperate reefs in New Zealand and worldwide. *Harmful Algae*, v. 8, p. 916-925. 2009.
- SILVA, L. M.; ÁVILA T.; ODEBRECHT, C.; MATTHIENSEN, A. *Ostreopsis ovata* (Dinoflagelado) associado a mancha de *Trichodesmium* (Cianobactéria) próximo à Ilha do Arvoredo, sc (Brasil). In: *xI Congresso Brasileiro de Ficologia*, Itajaí, Sociedade Brasileira de Ficologia. p. 67. 2006.
- SKINNER, M. P.; LEWIS, R. J.; MORTON, S. Ecology of the ciguatera causing dinoflagellates from the Northern Great Barrier Reef: Changes in community distribution and coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, v. 77, n. 1, p. 210-219. 2013.

- SUÁREZ-KORSNES, M.; SKOGTVEDT ROED S., TRANULIS, M. A.; ESPENES, A. Yessotoxin triggers ribotoxic stress. *Toxicology in Vitro*, v. 28, p. 975-981. 2014.
- TANIYAMA, S.; ARAKAWA, O.; TERADA, M.; NISHIO, S.; TAKATANI, T.; MAHMUDA, Y.; NOGUCHI, T. *Ostreopsis* sp., a possible origin of palytoxin (PTX) in parrotfish *Scarus oviifrons*. *Toxicon*, v. 42, p. 29-33. 2003.
- TESTER, P. A.; FELDMAN, R. L.; NAU, A. W.; KIBLER, S. R.; LITAKER, R. W. Ciguatera fish poisoning and sea surface temperatures in the Caribbean Sea and the West Indies. *Toxicon*, v. 56, n. 5, p. 98-710. 2010.
- TIBIRIÇÁ, C. E. J. A.; PROENÇA, L. A. O.; SCHRAMM, M. A. Investigação da ocorrência de dinoflagelados epífitos em duas enseadas na região Centro-Norte de Santa Catarina. In: *xiii Congresso Brasileiro de Ficologia*, Paraty, RJ. 2010.
- TORIGOE, K.; MURATA, M.; YASUMOTO, T.; IWASHITA, T. Prorocentrolide, a toxic nitrogenous macrocycle from a marine dinoflagellate, *Prorocentrum lima*. *Journal of the American Chemical Society*, v. 110, n. 23, p. 7876-7877. 1988.
- USAMI, M.; SATAKE, M.; ISHIDA, S.; INOUE, A.; KAU, Y.; YASUMOTO, T. Palytoxin analogs from the dinoflagellate *Ostreopsis siamensis*. *Journal of American Chemical Society*, v. 117, p. 5389-5390. 1995.
- VILLAREAL, T. A.; MORTON, S. L. Use of Cell-Specific PAM-Fluorometry to Characterize Host Shading in the Epiphytic Dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus*. *Marine Ecology*, v. 23, n. 2, p. 127-140. 2002.
- VILLAREAL, T. A.; HANSON, S.; QUALIA, S.; JESTER, E. L. E.; GRANADE, H. R.; DICKEY, R. W. Petroleum production platforms as sites for the expansion of ciguatera in the northwestern Gulf of Mexico. *Harmful Algae*, v. 6, n. 2, p. 253-259. 2007.
- WAKEMAN, K. C.; YAMAGUCHI, A.; ROY, M. C.; JENKE-KODAMA, H. 2015. Morphology, phylogeny and novel chemical compounds from *Coolia malayensis* (Dinophyceae) from Okinawa, Japan. *Harmful Algae*, v. 44, p. 8-19. 2015.
- YASUMOTO, T. Chemistry, etiology, and food chain dynamics of marine toxins. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, v. 81, p. 43-51. 2005.
- YASUMOTO, T.; NAKAJIMA, I.; BAGNIS, R.; ADACHI, R. Finding of a dinoflagellate as a likely culprit of ciguatera. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, v. 43, p. 1021-1026. 1977.
- YASUMOTO, T.; SEINO, N.; MURAKAMI, Y.; MURATA, M. 1987. Toxins produced by benthic dinoflagellates. *Biological Bulletin*, v. 172, n. 1, p. 128-131. 1987.

**Sobre
as autoras
e os autores**

Adilma de Lourdes M. Cocentino

Bióloga, Mestre em Botânica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente é Bióloga/Pesquisadora no Departamento de Oceanografia (Docean) da UFPE e Coordenadora do Laboratório de Macroalgas Marinhas (LAMMar) do Museu de Oceanografia (MOUFPE). Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Ficologia, atuando principalmente em taxonomia e ecologia de macroalgas marinhas.

Angel R. Moreira González

Biólogo, Mestre em Biologia Marinha e Aquicultura pela Universidad de la Habana (UH), Cuba, e Doutor em Sistemas Costeiros e Oceânicos pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Desde 1999 é Pesquisador Científico do Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), vinculado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Cuba, onde é responsável pelo Grupo de Ecologia Aquática. Atua em projetos de pesquisa e monitoramento de biologia marinha, com ênfase em taxonomia, ecologia e toxicologia de microalgas nocivas.

Arsenio J. Areces

Biólogo Marinho, Mestre e Doutor em Ciências Biológicas pela Universidad de la Habana (UH), Cuba. Atualmente, é pesquisador sênior do Instituto de Geografia Tropical (IGT) de Cuba, atuando nos campos de integração de gestão da zona costeira, planejamento espacial e análise de paisagens marinhas costeiras. Ao longo da carreira, orientou e coorientou teses de doutorado e dissertações de mestrado, bem como participou de colaborações em pesquisas e consultorias científicas no México, nos Estados Unidos da América e no Brasil. Foi, ainda, pesquisador visitante, entre 2011 e 2014, no Departamento de Oceanografia (Docean) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), desenvolvendo atividades relacionadas a ecologia de macroalgas marinhas da costa de Pernambuco.

Beatriz Brunelli de Souza

Bióloga, Mestre em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Botânica, atual Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), e atualmente é doutoranda

no mesmo programa. Tem experiência em Botânica, com ênfase em ficologia, atuando principalmente na diversidade, na filogenia molecular e na filogeografia de Rhodophyta.

Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de Vasconcelos

Biólogo, Mestre e Doutor em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com Doutorado Sanduíche na Universidade dos Açores (UAç), em São Miguel, Portugal. Atualmente, é Professor Adjunto de Ecologia do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (Isar) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Belém. Atua na área de ecologia de bentos, com ênfase em macroalgas marinhas, biodiversidade, bioindicação e classificação de habitats marinhos.

Fungyi Chow

Bióloga marinha pela Universidad Católica del Norte (UCN), Chile, e Doutora em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, é professora do Instituto de Biociências (IB) da USP. Atua em pesquisa e inovação de macroalgas bentônicas, com ênfase em estudos sobre fisiologia em condições de estresse e mudanças climáticas globais, perfil químico e bioquímico com relevância ecofisiológica e prospecção e cultivo em laboratório e maricultura. Tem atuação, ainda, em projetos de divulgação científica e popularização do conhecimento.

George Emmanuel Cavalcanti de Miranda

Biólogo pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Ecologia pela Universidade de São Paulo (USP) e Doutor em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). É Professor Adjunto da UFPB e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema), pela mesma instituição. Tem experiência nas áreas de Botânica e Ecologia, com ênfase em Ficologia, atuando principalmente nas seguintes áreas: cultivo e ecologia de macroalgas marinhas, gestão de áreas marinhas protegidas, comunidades macrofitobênticas e produtos naturais de algas marinhas.

Juliane Bernardi Vasconcelos

Oceanógrafa, Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente, é pós-doutoranda no Laboratório de Ecologia Marinha e Oceanografia Pesqueira da Amazônia (Lemopa), do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (Isarh) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Tem experiência em análise da bioatividade de macroalgas marinhas, principalmente atividade antioxidante.

Julyana N. Farias

Bióloga pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Doutora em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Botânica, atual Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), em São Paulo. Atuou em projetos de pesquisa com prospecção de substâncias bioativas a partir de Rhodophyta.

Luanda Pereira Soares

Bióloga pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Mestre em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Doutora em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Botânica, atual Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA). Atualmente, é Professora Adjunta no Departamento de Sistemática e Ecologia (DSE) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atua na área de Botânica, com ênfase em taxonomia e sistemática molecular de algas marinhas bentônicas, especialmente na reavaliação de espécimes tipo, espécies raras e/ou endêmicas da costa brasileira.

Luciana Retz de Carvalho

Engenheira Química, Mestre e Doutora em Química Orgânica de Produtos Naturais pela Universidade de São Paulo (USP). Exerceu o cargo de pesquisadora científica nos extintos Instituto Biológico, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo (1969-1982), e Instituto de Botânica, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (1992-2013), permanecendo nesse último até 2017, como Professora

Associada. Orientou e coorientou estudantes de iniciação científica, mestrado e doutorado. Suas principais áreas de atuação foram: isolamento, purificação e determinação de estrutura de substâncias contidas em plantas, macroalgas marinhas bentônicas e em cianobactérias; quimiosistemática de determinados grupos de macroalgas e atividades biológicas de extratos e de substâncias isoladas de plantas, macroalgas marinhas e de cianobactérias.

Luciano Felício Fernandes

Biólogo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Mestre em Botânica (1991) e Doutor em Zoologia (1998) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Realizou Estágio Pós-Doutoral no Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), na área de Biologia Molecular de algas nocivas, e alguns estudos de aperfeiçoamento no Instituto Español de Oceanografía (IEO), em Vigo, na Station Biologique de Roscoff, na França, e na Stazione Zoologica di Napoli, na Itália. Atualmente, é Professor Associado da UFPR, atuando em ecologia do fitoplâncton marinho, particularmente microalgas nocivas, e taxonomia de diatomáceas e dinoflagelados.

Luiz L. Mafra Jr.

Oceanógrafo pela Universidade do Vale do Itajaí (Univali), Mestre em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Doutor em Biologia pela Dalhousie University (Dal), Canadá. Foi pesquisador visitante no National Research Council Canada (NRC), no National Research Institute of Fisheries Science (NRIFS), no Japão, e no Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER). Atualmente, é Professor Associado no Centro de Estudos do Mar (CEM) da UFPR. Tem orientado dezenas de alunos em nível de graduação e pós-graduação, atuando em projetos de pesquisa nas áreas de Oceanografia e Aquicultura, com ênfase em Microalgas Nocivas, Ficotoxinas, Ecotoxicologia e Poluição Marinha.

Mutue Toyota Fujii

Bióloga, Mestre e Doutora em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp) e possui curto período

de pós-doutorado na University of Louisiana at Lafayette (UL Lafayette), Estados Unidos. Desde 1992 é Pesquisadora Científica do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, do Estado de São Paulo, onde atualmente é, também, Diretora do Departamento de Gestão do Conhecimento (DGC). É professora credenciada no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente (PPG-BVMA) da mesma instituição, orienta alunos de graduação, mestrado e doutorado e supervisiona bolsistas de pós-doutorado. Possui produção científica nas áreas de biodiversidade, ecologia e fisiologia de algas marinhas bentônicas, com ênfase em taxonomia e filogenia molecular.

Nathalia Cristina Guimarães Barros

Bióloga com Especialização em Oceanografia, Mestre e Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Tem experiência em Botânica, com ênfase em Botânica Aplicada, atuando principalmente em temas como bioindicadores da qualidade ambiental, macroalgas epífitas e fitobentos. Atualmente, exerce atividades no desenvolvimento de produtos educacionais voltados para ensino à distância (EaD).

Patrícia Guimarães Araújo

Bióloga, Mestre e Doutora em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e Pós-Doutora e Docente Colaboradora do então Instituto de Botânica, atual Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), e da Universidade de São Paulo (USP). Tem experiência nas áreas de ecologia e cultivo de macroalgas marinhas e avaliação e monitoramento de espécies exóticas de algas marinhas.

Renato Rocha-Jorge

Biólogo, Mestre e Doutor pelo Instituto de Botânica, atual Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, com ênfase nas áreas de taxonomia, ecologia e dinâmica de correntes marinhas. É instrutor de mergulhos, recreativo desde 1999 e profissional desde 2006, atuando nas áreas de instrução, consultoria, fiscalização e auditoria de atividades hiperbáricas. Autor do livro *Manual de mergulho* (2012).

Thiago Nogueira de Vasconcelos Reis

Biólogo, Mestre e Doutor (2012) em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Ecologia e Taxonomia do Macrofitobentos, e atuou principalmente nos temas: abundância do macrofitobentos; biodiversidade, ecologia e distribuição de macroalgas; caracterização e monitoramento ambiental; impactos ambientais em ecossistemas costeiros, metodologia científica.

Tiago Rodrigues

Biólogo, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca (IP), vinculado à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, com pesquisa sobre a identificação molecular de larvas de peixes de bico do Atlântico (Famílias Istiophoridae e Xiphiidae) através do *DNA Barcode*. Tem experiência na área de Recursos Pesqueiros, Biologia Pesqueira de Elasmobrânquios, atuns e afins. Atuou na taxonomia de crustáceos Amphipoda e foi bolsista de Apoio Técnico à Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no Núcleo de Ficologia (NF) do então Instituto de Botânica (IB) de São Paulo. Fez parte da 36ª Missão Antártica Brasileira (Operantar), embarcado como pesquisador no Navio Polar Almirante Maximiano. É fotógrafo de vida selvagem, autor do livro *In natura* (Ed. Jaguaritica, 2016) e possui colaboração em documentários e reportagens.

<i>Título</i>	Ambientes recifais de Pernambuco: algas indicadoras de qualidade ambiental e potencial biotecnológico
<i>Organização</i>	Mutue Toyota Fujji Adilma de Lourdes M. Cocentino Arsenio J. Areces
<i>Formato</i>	E-book (PDF)
<i>Tipografia</i>	Expo Pro
<i>Desenvolvimento</i>	Editora UFPE



Rua Acadêmico Hélio Ramos, 20 | Várzea, Recife-PE
CEP: 50740-530 | Fone: (81) 2126.8397
editora@ufpe.br | editora.ufpe.br

A riqueza de formas, tamanhos e colorações das macroalgas do litoral nordestino, registrada aqui em imagens e na descrição minuciosa de pesquisadores especialistas da área, serve de roupagem a propriedades suas menos visíveis, mas igualmente surpreendentes. Verdadeiras guardiãs do ambiente recifal, as macroalgas são bioindicadores que permitem a aferição do grau de desequilíbrio ou degradação desse e de outros ecossistemas aquáticos. Ao produzirem substâncias ativas com propriedades antioxidantes, anticancerígenas, antifúngicas e antiparasitárias, entre outras, servem elas também como importante fonte de recursos biotecnológicos para as indústrias farmacêutica e alimentícia, com expressivo potencial econômico.

Produzido a partir de pesquisas realizadas no âmbito dos Programas de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO-UFPE) e em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Ambientais de São Paulo (IPA), sob a orientação dos organizadores, este catálogo estende ao grande público o conhecimento sobre esses organismos especiais, elementos-chave para o equilíbrio ecológico da costa nordestina e para o desenvolvimento sustentável ligado aos cultivos marinhos e à vida nas comunidades litorâneas.

Apoio



DEPARTAMENTO
OCEANOGRAFIA



IPA
INSTITUTO DE
PESQUISAS AMBIENTAIS

