

CAPÍTULO XVI

BIOTECNOLOGIA MARINHA¹

Sinopse

Neste capítulo é apresentada a conceituação da biotecnologia marinha, bem como o processo histórico, cujo início, no Brasil, foi marcado pela criação da Rede de Biotecnologia de Macroalgas Marinhas (Redealgas); seguem-se informações sobre o Comitê Executivo para Levantamento e Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha (Biomar), com representantes de ministérios e outros órgãos de alto nível; relata-se o estado da arte, com dados sobre laboratórios e pesquisadores envolvidos, além de parcerias com o setor produtivo. O Brasil hoje tem cerca de 220 patentes depositadas, em biotecnologia marinha, e destas 85% estão relacionadas às algas marinhas. Importante salientar o crescimento quantitativo entre 2001 e 2018, sendo seus principais detentores as indústrias farmacêutica, cosmética, veterinária, agronegócio, química, de combustíveis e alimentícia; apresentam-se os fármacos obtidos a partir de métodos industriais; revela-se o montante elevado de vendas relativas à biotecnologia marinha, naquele período. Ainda é relevante dizer que a formação de recursos humanos no Brasil nesta área tem crescido rapidamente e é auferida, pela quantificação de trabalhos de pós-graduação disponíveis, relativos ao tema. Ainda sobre redes de pesquisa, são lembrados os trabalhos da Redealgas e da Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio), entre outras que, nos últimos anos, estão sendo formadas no Brasil. Finalmente é feita uma análise crítica da área de biotecnologia marinha e oferecidas sugestões pertinentes à matéria para que se possa nortear e dar subsídios acadêmicos e de inovação para os tomadores de decisões.

Abstract

This chapter defines Marine Biotechnology and presents its historical process, which, in Brazil, was marked by the creation of Marine Macroalgae Biotechnology Network (Redealgas). It provides information on the Executive Committee for Survey and Evaluation of the Biotechnologic Potential of Marine Biodiversity (Biomar), with representatives of Ministries and other high-level agencies. A report with the state-of-art, with data on laboratories and researchers involved, and partnerships with the productive sector is presented. The issue of patents is addressed, with focus on quantitative growth between 2001 and 2018, their main holders being the pharmaceutical, chemical, fuel and food industries. A description of the drugs obtained through industrial methods is made and the high amount of sales related to Marine Biotechnology in that period is revealed. The formation of human resources in Brazil, through the quantification of available post-graduation thesis, is assessed. Still about research networks, the works of the already mentioned Redealgas and of the Northeastern Biotechnology Network (Renorbio) are reminded, among others that are being formed in Brazil, in recent years. After a conclusive analysis, some suggestions regarding the topic are provided.

1. Introdução

Os organismos marinhos são responsáveis pela produção de substâncias de simples a muito complexas, ainda em grande parte desconhecidas, que atuam na comunicação entre espécimes, na defesa contra animais herbívoros ou predadores, entre competidores por espaço ou recursos, na reprodução sexuada (feromônios sexuais) ou, simplesmente, como produto de seu metabolismo para reserva, onde função ainda não estabelecida. Estas substâncias, produzidas para torná-los mais eficientes no meio marinho e garantir sua sobrevivência, mas também podem ser uma nova esperança para tratamento ou cura de muitas doenças humanas e animais.

O Brasil, detentor de uma imensa costa e grande diversidade biológica, começa a despertar

¹ A presente atualização contou com a participação da Prof.^a Dra. Yocie Yoneshigue Valentin, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

para esses recursos, tendo, atualmente, muitos grupos de pesquisadores que investigam substâncias isoladas de bactérias, algas, fungos e invertebrados marinhos, e seu possível potencial contra várias doenças. Nesse contexto, inclui-se a revisão de seis décadas sobre biotecnologia das macroalgas marinhas no Brasil buscando suas atividades biológicas (14).

A biotecnologia marinha busca moléculas de potencial econômico, como as que são empregadas na indústria farmacêutica, cosmética e na produção de tintas anti-incrustantes, além de promover o desenvolvimento das seguintes tecnologias:

- tecnologia biológica para identificação de pontos de estresse ecológico no ambiente (ex.: sondas moleculares de floração de algas nocivas, para a previsão de riscos potenciais à saúde);
- tecnologia molecular para identificação de populações e doenças emergentes, com vistas à proteção da pesca e de outros recursos biológicos (ex.: mapeamento de DNA de peixes); e
- tecnologia molecular para ensaios de diagnóstico rápido, que garantem a segurança dos recursos alimentícios, provenientes da aquicultura e da maricultura (ex.: aplicação de reações em cadeia da polimerase – PCR – para identificar, num só ensaio e simultaneamente, vários micróbios patogênicos incluindo *Vibrio* e *Salmonella*, em tecidos de bivalves, como ostras, mexilhões, vieiras, entre outros organismos).

O potencial biotecnológico do mar tem despertado o interesse de vários profissionais, em particular de biólogos, bioquímicos e químicos. As dificuldades de coleta, no entanto, retardaram o início efetivo do estudo desse potencial. Contudo, os avanços nos métodos de mergulho autônomo e o desenvolvimento de equipamentos para coleta em maiores profundidades, associados às novas técnicas cromatográficas, espectroscópicas e de cultivo, entre outras, resultaram no desenvolvimento desta tecnologia a partir dos anos 1970, em particular nos Estados Unidos da América, no Japão, na Austrália e na Itália.

O desenvolvimento de novas estratégias em Biotecnologia, incluindo bancos de germoplasma, ensaios em larga escala, química combinatória e desenho racional de fármacos, pelos avanços da modelagem molecular, podem produzir maior número de novas substâncias químicas com potencial tecnológico, em menor tempo. No entanto, sabe-se ainda pouco sobre essa enorme fonte de diversidade molecular e a descoberta de novos protótipos com atividade biológica *in vitro* e *in situ* permanece fundamental para a ciência (35). Vários produtos marinhos têm aplicação comercial hoje ou potencial industrial para os próximos cinco anos (12, 17, 18, 20, 30, 34, 36).

A enorme potencialidade dos oceanos para a Biotecnologia permanece, em grande parte, desconhecida. Mesmo para os organismos mais investigados, como algas e invertebrados marinhos, ainda existe um conhecimento insuficiente para permitir sua gestão e sua utilização inteligente. A figura 1 abaixo ilustra uma pesquisa realizada na Universidade Federal Fluminense (UFF), coordenada pelas Dras. Valeria Launeville Teixeira e Izabel Paixão, com produtos naturais de algas marinhas que possuem potencial antiviral. Nos últimos dois anos, estão sendo concluídos estudos *in vivo* em mamíferos, com tais produtos.



Figura 1 – Alga marinha *Dictyotapaffii*, coletada no Arquipélago do Atol das Rocas - RN, da qual é isolada, em laboratório da UFF, uma substância química (dolabediatriol) com potencial antiviral contra o herpes humano (HSV) e a síndrome da imunodeficiência adquirida (HIV)

Na década de 1950, substâncias isoladas de esponjas marinhas *Tethyacrypta*, como a espongouridina e a espongotimidina (1), serviram de protótipos moleculares para o desenvolvimento de poderosos antivirais sintéticos, como o aciclovir (com atividade inibitória contra os vírus do herpes humano) e o AZT ou zidovudina (indicado para o tratamento da AIDS e, atualmente, de infecções por HIV, em associação com outros medicamentos antiretrovirais), além de outros, tais como o ARA-A e o ARA-C.

Extratos e produtos para a utilização na indústria de cosméticos, nutracêuticos e sondas para avaliação de enzimas específicas, em processos celulares, também são exemplos de utilização de produtos isolados de organismos marinhos. Vários extratos para fins medicinais já foram obtidos a partir de macroalgas, coletadas em águas nacionais e internacionais, como na Antártica (13, 15, 17, 20, 21, 24, 25, 27, 31, 34, 36, 38). Inúmeros desses produtos têm sido testados no combate a tipos distintos de câncer (25) e vários deles já se encontram em fases clínicas adiantadas ou em uso comercial. Ademais, muitas espécies de macroalgas têm demonstrado bioatividade para fins medicinais, como em casos de doenças negligenciadas típicas de países em desenvolvimento (13, 30, 34, 36) e também de pesquisas relativas ao bem estar do ser humano (5, 7, 8, 13, 16, 32, 37, 38). Além de fontes diversas como algas e animais marinhos, métodos de produção para fins comerciais têm sido empregados, como a síntese de análogos, a cultura de células e as proteínas recombinantes.

Nos últimos anos, o número de produtos isolados de fontes marinhas é enorme. Segundo o *Marine Literature Database*, 2013 (MarinLit), o número já se aproxima de 24.000 metabolitos isolados de organismos marinhos, derivados de cerca de 6.000 espécies de aproximadamente 2.200 gêneros de 39 filos, com mais de 30 compostos em fases clínicas distintas². Em sua última revisão anual sobre os produtos naturais marinhos, Blunt e colaboradores (2014) relacionam mais de 1.240 moléculas isoladas, apenas em 2012, conforme publicado em cerca de 1.035 citações no mundo inteiro. Isto significou um aumento de mais de 20% do número de moléculas conhecidas em 2010, o que revela o grande desenvolvimento da área³.

Os usos tradicionais dos recursos do mar estão relacionados às atividades de pesca, à exploração de petróleo e gás, à maricultura e às atividades envolvendo o turismo e o lazer, enquanto os recursos minerais e biológicos em águas profundas e o potencial biológico da biodiversidade marinha – a bioprospecção – permanecem pouco utilizados, porém o Brasil tem atuado nesta última década apontando resultados promissores (1, 3, 12, 22, 23, 29, 33, 28)⁴. Os métodos ou formas de localizar, avaliar e explorar, sistemática e legalmente, a diversidade de vida existente, tendo como principal finalidade a busca de recursos genéticos, bioquímicos e químicos para fins industriais, começam a ser uma realidade, em vários locais do mundo. A figura 2, abaixo, apresenta os principais passos no processo de descoberta de novas drogas a partir de organismos marinhos.

² Disponível para consulta e assinatura em <http://www.chem.canterbury.ac.nz/marinlit/marinlit.shtml> .

³ Anais da 62ª Reunião Anual da SBPC - Natal, RN - Julho/2010, Ciências Exatas e da Terra / Química / Química de Produtos Naturais, Biodiversidade e Sustentabilidade - Biotecnologia Marinha no Brasil. Valéria Laneuville Teixeira, Departamento de Biologia Marinha, Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, RJ. Fonte: <http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/simposios> .

⁴ A equipe liderada pelo Prof. Pio Colepicolo, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQUSP) tem produzido ativamente estudos relacionados à bioatividade das macroalgas marinhas, ampliando nosso conhecimento nessa área. Vide referências bibliográficas.

biodiesel); anti-incrustantes e anticorrosivos; toxinas marinhas; e biotecnologia marinha e o meio ambiente”.

2. Histórico, no Brasil

Um marco histórico para o estabelecimento e o avanço dos estudos biotecnológicos marinhos foi o I Workshop intitulado “Potencial em Biotecnologia de Macroalgas Marinhas”, com o objetivo de estruturação de uma Rede Temática Nacional em Biotecnologia de Macroalgas Marinhas, em 2005, em Angra dos Reis (RJ), promovido pelo então MCT⁵, por meio da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (Seped/MCT) e do CNPq, com a participação de pesquisadores, da Sociedade Brasileira de Ficologia, bem como de gestores e empresários. Nessa reunião, a ênfase foi em novos bioativos, manejo e cultivo, conservação, biotecnologia e técnicas de bioatividade.

Foi então elaborado o documento para a criação da Rede de Biotecnologia de Macroalgas Marinhas (Redealgas)⁶, um projeto multidisciplinar implantado pelo MCT, que engloba diversas entidades de pesquisa e é dividido em vertentes temáticas e de aplicação biotecnológica das substâncias retiradas das algas marinhas. A Rede tem como objetivos: o mapeamento da diversidade de macroalgas marinhas; o estudo da fisiologia; o estudo da ecologia, seu manejo e conservação; a maricultura e seu uso sustentável; o isolamento, a identificação e a caracterização de moléculas; a caracterização da atividade biológica; a modelagem, a síntese, as modificações químicas e a expressão de moléculas bioativas; o desenvolvimento de produtos; a proteção da propriedade intelectual; e a produção de insumos de aplicação industrial.

Em 2006, foi lançado pelo CNPq o Edital nº 10/2006 – Seleção pública de propostas para apoio às atividades de pesquisa direcionadas ao desenvolvimento de fármacos e insumos farmacêuticos a partir de algas marinhas, como resultado de uma parceria entre o MCT e o Ministério da Saúde (Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos). Como resultado, foram implementados, na área de biotecnologia marinha, quatro grandes projetos, com o aporte de três milhões de reais.

O Comitê Executivo para o Levantamento e a Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha (Biomar) foi criado pela Portaria nº 230/MB, de 14 de setembro de 2005, subordinado à Subcomissão para o PSRM. Segundo essa portaria, o citado Comitê, coordenado pelo representante do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), é composto por representantes do Ministério das Relações Exteriores (MRE), do Ministério da Educação (MEC), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República (Seap/PR), da Marinha do Brasil (MB), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm) e da Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras).

Tal comitê teve como competência elaborar uma Proposta Nacional de Trabalho (PNT), com a finalidade de avaliar o potencial biotecnológico dos organismos existentes nas áreas marítimas sob jurisdição e de interesse nacional e submetê-la à aprovação da Cirm, por intermédio da Subcomissão para o PSRM; acompanhar e viabilizar o cumprimento das metas da PNT, adotando as medidas necessárias à sua operacionalização e ao seu atendimento; assessorar a Subcomissão para o PSRM na supervisão dos trabalhos relativos à condução das atividades da PNT; e convocar membros e consultores ad-hoc da comunidade científica, quando necessário.

⁵ O Ministério teve sua denominação alterada de MCT para MCTI, em 2011 e para MCTIC em 2016, com a incorporação do Ministério das Comunicações (nota do revisor).

⁶ A primeira coordenadora da Redealgas foi a Dra. Yocie Yoneshigue-Valentin (2005-2009), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

A implementação do Comitê Executivo ocorreu, efetivamente, em meados de 2007, possibilitando elaborar-se o Programa de Levantamento e Avaliação do Potencial Biotecnológico da Biodiversidade Marinha (Biomar), hoje denominado apenas Biotecnologia de Organismos Marinhos. Surge a PNT em biotecnologia marinha, após a realização, na Escola Naval (RJ), de várias reuniões com os membros da comunidade científica. APNT tem como objetivos: estimular, apoiar e promover os meios para desenvolvimento e aproveitamento sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade marinha existente nos ecossistemas costeiros e nas áreas marítimas sob jurisdição brasileira e de interesse nacional, definindo focos prioritários para atuação governamental no incentivo à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no Brasil, tomando como base a capacidade existente, as prioridades de cada um dos atores governamentais e o incremento da articulação entre os setores públicos e privados.

Durante essas reuniões, ficou evidente a necessidade de um diagnóstico da capacidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação da biotecnologia marinha no País, que oriente futuras ações para fortalecê-la, a criação de mecanismos de apoio à pesquisa científica biológica marinha e a melhoria dos procedimentos com impacto direto sobre a evolução da matéria, à luz dos marcos regulatórios (ações estruturantes horizontais).

Dentre as ações estruturantes verticais, a PNT tem como objetivos ampliar o conhecimento científico sobre a biodiversidade marinha com potencial biotecnológico e estimular a geração de processos e produtos. Em decorrência de convênio entre o MCT (Seped) e a UFF (Departamento de Biologia Marinha), deu-se início, ao final de 2008, ao diagnóstico da capacidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação em biodiversidade marinha no Brasil.

Para apoiar os grupos de biotecnologia marinha, o MCT, o CNPq e o Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural (CT-Petro) lançaram um novo edital (Edital MCT/CNPq/CT-Petro – nº 39/2009), destinado a projetos que possam contribuir, significativamente, para o desenvolvimento científico e tecnológico do país e que promovam a ampliação de pesquisas, com vistas ao uso sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade marinha existente nos ecossistemas costeiros e nas áreas marítimas sob jurisdição brasileira e de interesse nacional. Com esse objetivo, foram aprovados 17 projetos de grupos emergentes de outras áreas e consolidados em diferentes subáreas da biotecnologia marinha.

Embora possa ser considerada como área de aplicação diversa da biotecnologia marinha *stricto sensu*, a geração de pesquisa e tecnologias para a produção de biodiesel a partir de algas também teve um edital para apoio financeiro, o Edital MCT/CNPq/Seap - PR nº 26/2008. Tal edital selecionou 11 grupos na área, sendo dois da Universidade Federal do Rio Grande (Furg), dois da Universidade Federal do Paraná (UFPR), dois da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e um de cada uma das seguintes universidades: Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade Federal de Goiás (UFG), todas com experiência científica na área, sendo disponibilizado um total de R\$ 25 milhões.

Um novo edital foi lançado em 2010, o MCT/CNPq/FNDCT nº 03/2010, com o objetivo de selecionar propostas para apoio financeiro a projetos que visem contribuir, significativamente, para o desenvolvimento científico e tecnológico do País, apoiando a cadeia de produção e uso de biodiesel. Entre as diretrizes do edital está a produção e a obtenção de matérias graxas, a partir de microalgas marinhas.

Cabe ressaltar duas iniciativas importantes: o II Workshop em “Novos Bioativos de Macroalgas: manejo e cultivo, conservação, biotecnologia e técnicas de bioatividade”, em Ilha Bela, São Paulo, em 26-29 de julho de 2009, e o *Workshop on Marine Biodiversity – Current Advances on Bioprospecting, Biogeography and Phylogeography*, em São Paulo, em 9-10 de setembro de 2010, que reuniu pesquisadores brasileiros e internacionais. Foram publicados 25 artigos (150 autores) dos

participantes desse workshop numa edição especial da Revista Brasileira de Farmacognosia sob o título “Fronteiras dos Compostos Bioativos das Macroalgas, entre Outros”.

Ainda há que destacar-se o Edital MCT/CNPq/FNDCT N° 71/2010 - Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) em Ciências do Mar, que resultou na aprovação de quatro propostas para sediar tais Institutos: no Rio de Janeiro, o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM); em São Paulo, a Universidade de São Paulo (USP); no Rio Grande, a Furg; e em Salvador, a UFBA. Embora não tenha como foco principal a biotecnologia marinha, há grupos em pelo menos dois INCTs que contemplam a área de prospecção da biodiversidade marinha.

Em julho de 2011 foi realizado o III Workshop intitulado “Novas Percepções sobre Produtos Algáceos e Bioprospecção no Brasil: aplicações na saúde pública, na cosmetologia e farmacêutica”, no Hotel Arcozelo, em Paty de Alferes. Foram publicados 28 artigos (145 autores) em edição especial da Revista Brasileira de Farmacognosia em 2016.

O Instituto de Microbiologia Paulo de Góes (IMPG), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) ganhou, em junho de 2012, um novo polo de laboratórios, pioneiro no estado: o Bioinnovar. O espaço será o maior complexo de laboratórios de pesquisas na área de Biotecnologia do Brasil e o único no Rio de Janeiro com o desenvolvimento de projetos pioneiros nas áreas médica, farmacêutica e de sustentabilidade socioambiental, com destaque para as pesquisas com micro-organismos voltados para a prevenção e a remediação de acidentes naturais ou decorrentes da ação do ser humano, como o vazamento de óleo no oceano. O polo será constituído por diferentes grupos de pesquisa de caráter multidisciplinar, com foco em quatro grandes áreas: Biocombustíveis; Biofármacos e Dispositivos Biomédicos; Biocatalisadores e Bioprodutos; e Ecologia Microbiana e Biotecnologia do Petróleo. O complexo vai trabalhar também com a implantação de áreas de Biossegurança, onde serão feitos testes com vírus patogênicos e estudos de doenças sazonais e epidemias, além do desenvolvimento de vacinas e de medicamentos. O Bioinnovar envolverá a universidade, empresas e o governo, e tem como um de seus principais objetivos o desenvolvimento da pesquisa básica, como resposta às necessidades sociais.

Em 2013, o MCTI abriu uma consulta para plano de trabalho em biotecnologia marinha visando à elaboração do Plano Nacional de Trabalho 2013-2015 para a Ação Biotecnologia Marinha (Biomar), instrumento de planejamento integrado e participativo, como já mencionado, que orienta as atividades a serem empreendidas pelos segmentos envolvidos no conhecimento e no uso sustentável do potencial biotecnológico da biodiversidade das áreas marítimas brasileiras. O plano foi encomendado a um grupo de especialistas pelo comitê executivo Biomar e promoveu o encontro de pesquisadores que atuam em biotecnologia marinha com o objetivo de viabilizar a articulação e o desenvolvimento de projetos conjuntos. A ação Biomar é uma das prioridades do VIII Plano Setorial para os Recursos do Mar, sob a tutela da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM). Em decorrência de proposta estabelecida em reunião no CNPq, foi criado um edital para financiamento de redes em biotecnologia marinha e a atualização do livro *Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha*, publicado em 2010, onde Teixeira e colaboradores apresentam os gargalos, as metas e ações governamentais para o desenvolvimento da área⁷.

Em novembro de 2013 foi realizado o IV Workshop da Redealgas em consonância com o IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas (Claba) sob o título “Desafios à Conservação e ao Desenvolvimento Sustentável”, em Florianópolis, SC. Como resultado, foram publicados 31 artigos por 143 autores no *Journal of Applied Phycology*. Ainda em 2013, foi lançada a chamada MCTI/CNPq/FNDCT – Ação Transversal N° 63/2013 – Estruturação de uma Rede de Pesquisa em Biotecnologia Marinha. Tal ação teve o objetivo de apoiar projetos de pesquisa científica, tecnológica e de inovação, visando estruturar uma rede de pesquisa em biotecnologia marinha, com a finalidade de investigar potenciais usos de bioativos obtidos de organismos marinhos

⁷ Informações disponíveis em <https://www.mar.mil.br/secirm/p-biomar.html>.

presentes na Zona Costeira e no Oceano Atlântico Sul e Tropical, bem como em águas internacionais de interesse nacional, contribuindo para a formação de recursos humanos e a produção de conhecimentos científicos, tecnológicos e de inovação que promovam o desenvolvimento social e econômico sustentável. O edital recomendou inicialmente 13 projetos.

3. Estado da arte, no Brasil

3.1. Pesquisa nas subáreas da biotecnologia marinha

Segundo os dados obtidos no estudo sobre a atualização do estado da arte em biotecnologia marinha no Brasil (2014), observa-se que existem muitos laboratórios cadastrados que atuam nessa área, em todas as regiões do País, no banco de grupos de pesquisa do CNPq, o mais completo do Brasil.

Há cerca de 200 pesquisadores envolvidos em biotecnologia marinha, em particular na Universidade Federal do Ceará (UFC) (23 grupos cadastrados), na USP e na UFSC (20 grupos cada), na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) (19 grupos), na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (16 grupos), na UFF (15 grupos), na Furg (14 grupos), na UFBA (13 grupos), na UFPR (11 grupos) e na UFRJ (4 grupos). Em atualização dos dados, verificou-se que 49% dos autores mais produtivos na área estão na região Sudeste, 25%, na Nordeste e 23%, na Sul.

Uma característica dos grupos de atuação em biotecnologia marinha é a parceria com o setor privado. Cerca de 120 empresas são citadas como parceiras, públicas e privadas, no banco de dados do CNPq. Apesar da possibilidade de ter ocorrido a omissão de algumas delas no preenchimento do diretório dos grupos de pesquisa, tal presença em cerca de ¼ dos grupos caracteriza o interesse do empresariado na área e o potencial tecnológico dos organismos marinhos. Por outro lado, vários grupos citam o apoio de instituições públicas de fomento ou estão ligados às secretarias estaduais ou municipais. Diversas empresas estão relacionadas à área e podem usufruir os resultados das pesquisas. Outras apenas apoiaram financeiramente grupos de pesquisa, sem correlação com os resultados.

A Petrobras, por exemplo, apoia principalmente grupos nas subáreas de combustível alternativo, como biodiesel a partir de algas, biorremediação, ecotoxicologia e avaliação de impacto ambiental. Várias são as empresas ligadas à pesca que suportam grupos de Biotecnologia aplicada à Aquicultura. No entanto, poucas indústrias farmacêuticas têm apoiado grupos de Bioprospecção, diferentemente do que ocorre em outras partes do mundo. As indústrias de alimentos também apoiam de modo tímido a pesquisa em biotecnologia marinha.

A pós-graduação em biotecnologia marinha do Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira” (IEAPM) é o primeiro curso nesta área no Brasil, tendo obtido a nota 4 pela última avaliação da Capes. Indica-se, ao final, que o IEAPM dispõe de um Laboratório de Recursos Marinhos (Laremar), com capacidade de execução de atividades em biotecnologia marinha, e desenvolve pesquisas nessa área, em parceria com a UFF e a UFRJ. Tal Instituto e seus parceiros vêm desenvolvendo, há mais de 15 anos, pesquisas com produtos naturais marinhos visando ao uso de biocidas naturais em tintas anti-incrustantes eficientes e com baixa toxicidade. As melhores substâncias extraídas de organismos marinhos vêm sendo selecionadas. Duas patentes já foram depositadas nacional e internacionalmente, respaldando a importância dos resultados obtidos até o momento.

Dentro dessa linha de ação, por meio do IEAPM, a Marinha do Brasil vem desenvolvendo pesquisas na área de biotecnologia marinha de forma a estabelecer um forte marco brasileiro nas políticas para o oceano e para reconhecimento da soberania sobre a Amazônia Azul, assegurando a hegemonia em uma extensa região da margem continental que tem reconhecida diversidade de recursos vivos e minerais, cujo aproveitamento sustentável é incipiente. Nesse sentido, o conhecimento dos ambientes marinhos, bentônicos e pelágicos, incluindo sua biodiversidade e uma

visão integrada, é primordial para possíveis utilizações biotecnológicas.

Levantamentos e prospecção das espécies visando à extração de substâncias ou à seleção para cultivo estão sendo desenvolvidos no âmbito do INCT de Ciências do Mar (INCT-PRO-OCEANO), cuja instituição líder é o IEAPM, como mencionado anteriormente. Também são abordadas, nessa linha de pesquisa, questões relacionadas com as diferentes fases dessa produção, além da gestão de negócios e empreendedorismo, dos aspectos legais da propriedade intelectual e de questões de bioética e da biossegurança.

3.2. Patentes em biotecnologia marinha, no Brasil e no mundo

O desenvolvimento de ciência e tecnologia em um país é um dos principais elementos que demonstram sua evolução em relação aos demais. A propriedade intelectual é um bem comercial importante, tendo em vista os benefícios que pode gerar. Sem dúvida, o pesquisador ou inventor brasileiro precisa desenvolver uma cultura de proteção à propriedade intelectual. O principal entrave mencionado pelos cientistas em todos os congressos e reuniões científicas é a desinformação em relação aos procedimentos necessários e o receio de adiar sua produção científica.

O Instituto Brasileiro de Propriedade Intelectual (IBPI), escritório que cuida da concessão de patentes no Brasil, está em 12º lugar entre os 20 que mais concedem patentes no mundo. No entanto, é lento o processo de concessão de patentes no Brasil, podendo ocorrer uma demora de dez a doze anos, após o registro inicial. Nesta última década, a Universidade de São Paulo (USP) depositou duas patentes importantes para a química verde, pois não usa catalisadores convencionais na preparação de nanopartículas que são extremamente poluidoras. Extratos de macroalgas são utilizados como catalizador da produção de nanopartículas. O produto das nanopartículas tem atividade anticâncer⁸. Além disso, a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) também requereu duas patentes, uma com microalgas e a outra com macro algas com a finalidade de bioremediar o glicerol proveniente de biodiesel e com atividade antioxidante, respectivamente⁹.

Pelos dados da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (*Wipo*), o Brasil apresentou ligeiro aumento, de 1,7%, em 2009, em relação a 2008, no registro de patentes internacionais. Apesar de ser considerada uma ampliação discreta, o número ficou bem acima da média mundial, que teve queda de 4,5%. Por aqui, foram 480 solicitações, no total, em 2009, o que coloca o Brasil entre os últimos países, quanto às patentes obtidas. Mas cabe notar que, em cinco anos, o registro internacional de patentes, feito por instituições brasileiras, aumentou quase 75%. Entre os emergentes, o Brasil ficou atrás da Coreia do Sul, com 8.066 pedidos, da China, com 7.946, da Índia, com 761, e de Cingapura, com 594. Os Estados Unidos ainda lideram o ranking, com quase um terço dos depósitos em 2009, 45.790, mas apresentou queda de 11,4%, em relação a 2008.

Outro dado importante e que diferencia o Brasil é que, ao contrário do que ocorre nos países desenvolvidos, 80% dos pesquisadores estão trabalhando nas universidades e apenas 20% encontram-se nas empresas. O número de patentes em biotecnologia marinha no mundo é bem expressivo, mais de 1.000 por ano, desde 2001. Há, ainda, alguma dificuldade no uso desse termo, motivo pelo qual, no levantamento de patentes internacionais, utilizam-se as palavras-chaves *marine alga*, *marine product*, *marine bactéria* etc. Deve-se destacar o grande número de patentes que envolvem biologia molecular e química, de produtos naturais. O Brasil hoje tem cerca de 220 patentes depositadas, em biotecnologia marinha, e destas 85% estão relacionadas às micro e macroalgas (comunicação pessoal, Dr. Andrei Polejak, MCTI). Contudo, estas patentes demoram, no Brasil, entre 10 a 12 anos

⁸ **Patente 1:** Processo de obtenção de nanopartículas de prata, nanopartículas de prata e uso do mesmo utilizando extratos de macroalgas como catalizadores.

Patente 2: Processo de obtenção de nanopartículas de selênio, nanopartículas de selênio e uso das mesmas utilizando extratos de macroalgas como catalizadores.

⁹ **Patente 3:** Aplicação de microalgas para biorremediação do glicerol oriundo da obtenção de biodiesel.

Patente 4: Aplicação de extratos de macroalgas como antioxidante em biodiesel.

até serem cedidas.

Entre os grupos de organismos marinhos, destacam-se as bactérias (incluindo cianobactérias), os micro-organismos (microalgas incluídas) e as algas, de um modo geral. Estas são, nesse campo, o grupo que possui maior número de patentes.

Houve um expressivo aumento do número de patentes em biotecnologia marinha, a partir de 2001, como mostra a figura 3 abaixo, mesmo levando-se em consideração que a expressão-chave *marine biotechnology* não é empregada pela totalidade dos pesquisadores-inventores.

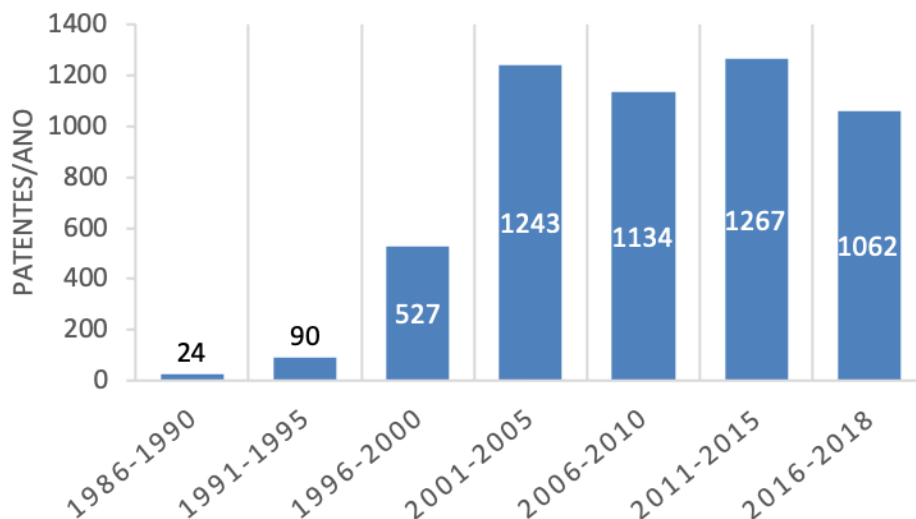


Figura 3 – Número de patentes em biotecnologia marinha no mundo (1986 a 2018)

Fonte: *Wipo*, 2018 (12)

Ao analisarem-se os países de origem das patentes, a partir de 1984, pode-se observar a supremacia norte-americana, com mais de 60% das patentes em biotecnologia marinha, seguida da Alemanha (8%), Grã-Bretanha (6%) e Japão (3%). O Brasil apresenta apenas três patentes reconhecidas nessa área (menos de 1%). Ao realizar-se a busca com a expressão-chave *marine product*, o número de patentes aumenta consideravelmente, porém a participação norte-americana permanece em 63% do total. O Brasil, com esta nova forma de busca, apresenta 21 patentes.

Entre as maiores instituições detentoras de patentes, ao utilizar-se como chave “produtos marinhos”, encontram-se indústrias farmacêuticas, químicas, de combustíveis e alimentícias. Um exemplo importante é a *Pharma Mar*, do grupo espanhol *Zeltia*, que investiga os produtos naturais marinhos contra vários tipos de câncer. O Yondelis® (trabectedin; ET-743) - produzido de modo sintético pela *Pharma Mar* a partir do tunicado marinho *Ecteinascidia turbinata* - é um medicamento anticancerígeno, que impede o processo de multiplicação das células tumorais.

O quadro 1, abaixo, ilustra alguns fármacos obtidos a partir de métodos industriais baseados em moléculas isoladas de organismos marinhos.

Quadro 1 – Fármacos obtidos a partir de métodos industriais baseados em moléculas isoladas de organismos marinhos

Apresentação	Nome	Atividade Biológica	Fonte Marinha Original	Modo de Produção Industrial
	Ara-A (Vidarabina®)	Droga antiviral (Colírio) contra o vírus herpes simplex e varicella zoster	Esponja marinha <i>Cryptotethya crypta</i>	Fermentação microbiana de análogos
	Ara-C (Citarabina®)	Droga anticâncer	Esponja marinha <i>Cryptotethya crypta</i>	Síntese de análogos
	Neovastat® (E-941)	Comprovada eficácia em estabilizar a progressão tumoral e em aliviar a dor associada à metástase	Extrato padronizado da fração < 500 kDa da cartilagem do tubarão <i>Squalus acanthias</i>	A produção do extrato depende diretamente do sacrifício dos tubarões
	Yondelis®	Anticâncer aprovado para uso clínico no tratamento de sarcoma de tecidos moles	Ascídia caribenha <i>Ecteinascidia turbinata</i>	Síntese a partir da cianosa-fracina B da cultura da bactéria <i>Pseudomonas fluorescens</i>
	Prialt® (ziconotídeo, ω-conotoxina MVIIA)	Potente analgésico	Molusco <i>Conus magnus</i>	O ziconotídeo é sintetizado a partir de aminoácidos naturais
	NPI-2358, Inc.	Anticâncer, agente antiangiogênico	(NPI-2350), uma substância natural isolada de <i>Aspergillus sp.</i> , de origem marinha	Dicetopiperazina sintética análoga da halimida desenvolvida pela <i>Nereus Pharmaceuticals</i>

Para obtenção do maior número possível de informações sobre as patentes e os pedidos de depósito existentes na área de Biotecnologia, realiza-se uma pesquisa no banco de dados do INPI e na página eletrônica do *Patentesonline*, onde essas informações estão disponibilizadas, de modo organizado e gratuito. Para tal, opta-se pelo uso de diversas palavras-chaves para a busca nos bancos de dados (mar, marinho/marinha, algas, moluscos, equinodermos, esponjas, aquicultura, maricultura, pesca, produto marinho, biotecnologia marinha, cultivo de alga, bactéria marinha, micro-organismo marinho, microalga). Foram obtidas cerca de 200 patentes, depois lidas e selecionadas.

Até abril de 2010, 39 pedidos de depósito ou patentes foram feitos¹⁰. A grande maioria das patentes nacionais (84%) versa sobre o uso das algas (micro e macroalgas), seus extratos, seus produtos e seu cultivo, como fonte de produtos ou energia (biocombustíveis).

As vendas mundiais, em 2000, relacionadas à biotecnologia marinha, apresentaram números impressionantes: 100 bilhões de dólares, de produto natural derivado de uma esponja marinha no

¹⁰ <http://www.inpi.gov.br> e <http://www.patentesonline.com.br>.

tratamento do herpes; 50-100 milhões de dólares, na venda de agentes anticâncer de organismos marinhos; um bilhão de dólares (231 bilhões em 2005) na de cosméticos; e, finalmente, é estimada a venda de 150 milhões de dólares por ano de enzimas obtidas de fontes hidrotermais. Pelo menos 14 companhias biotecnológicas estabeleceram colaboração com institutos de pesquisa localizados na América do Norte e na Europa e têm registradas mais de 40 patentes com produtos isolados de organismos marinhos.

Essas estimativas também incluem as principais indústrias farmacêuticas, como *Merck, Lilly, Pfizer, Hoffman-La Roche e Bristol-Myers Squibb*, que possuem departamentos de biologia marinha (UNU-IAS 2005)¹¹.

3.3. Formação de recursos humanos em biotecnologia marinha, no Brasil

Foi realizado um levantamento das teses e dissertações brasileiras durante o período de 2003-2008 no banco de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)¹². Para o ano de 2009, utilizaram-se informações dos bancos de dados do CNPq¹³, no endereço eletrônico Domínio Público¹⁴, e do Google¹⁵.

Nessa amostragem foram obtidas 223 teses e dissertações defendidas em 26 universidades brasileiras, públicas, estaduais ou federais, em programas de pós-graduação em 13 estados, 22% deles em São Paulo, 20% no Rio de Janeiro e 19% no Ceará.

A região Sudeste detém 45% do total, seguida pelo Nordeste com 35%, perfazendo o total de 80% das teses e dissertações defendidas no Brasil, na área de biotecnologia marinha.

A principal área é a de bioprospecção de substâncias de origem marinha com potencial tecnológico (bioquímica, farmácia, farmacologia, química biológica, química orgânica, química de produtos naturais, toxicologia e análises toxicológicas etc.), totalizando 83 teses e dissertações concluídas no período, conforme apresentado na figura 4 abaixo.

¹¹ Novos dados sobre o mercado de biotecnologia marinha podem ser obtidos em: <http://www.reportlinker.com/report%20search/keywords/marine/biotechnology/mode/public> por subárea (p.ex.: Genômica) e por região geográfica (p.ex.: Europa, Canadá, Malásia).

¹² <http://servicos.capes.gov.br/capesdw> .

¹³ <http://lattes.cnpq.br> .

¹⁴ <http://www.dominiopublico.gov.br> .

¹⁵ <http://www.google.com> .

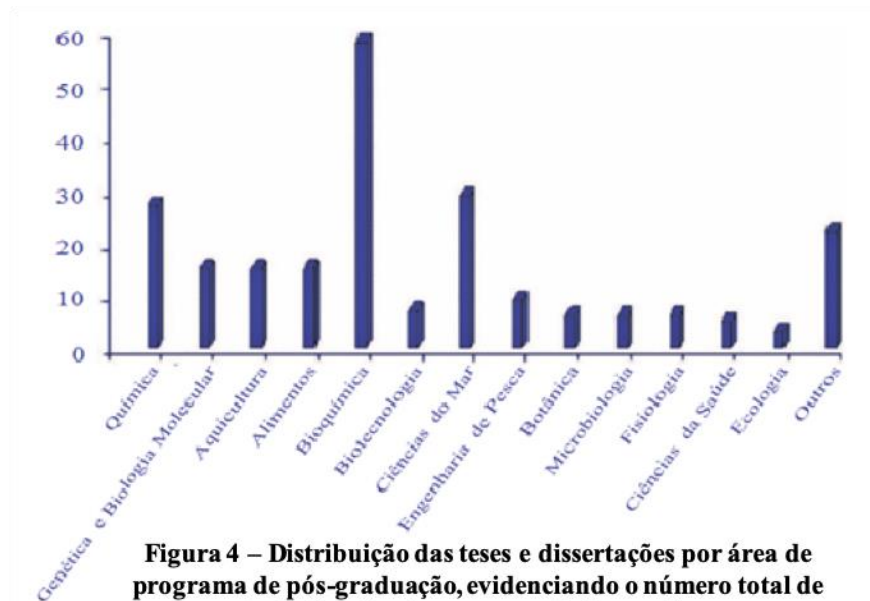


Figura 4 – Distribuição das teses e dissertações por área de programa de pós-graduação, evidenciando o número total de trabalhos finais por grupo de áreas afins

Fonte: Capes, 2009 (5)

Devido à grande diversidade de cursos de Pós-Graduação na área de biotecnologia marinha, o recurso humano formado tem sido amplamente absorvido pela academia e pela iniciativa privada. A iniciativa privada tem a preferência de profissionais com doutorado nas áreas de farmácia, química, engenharia, enquanto os profissionais com doutoramento em biologia (em suas variáveis, tais como genética, ecologia e marinha) têm a preferência da academia.

A instituição com mais teses e dissertações é a UFC (40), seguida da USP (36), da UFRJ (25), da UFRN (18), da UFSC (15), da UFF (15) e da Furg (12). As instituições UFC, USP, UFRJ, UFRN, UFSC, UFF, Univali e Furg totalizam mais de 70% das teses e dissertações na área, sendo as grandes formadoras de recursos humanos, em bioprospecção de substâncias de origem marinha com potencial tecnológico.

Os programas de pós-graduação foram reunidos em grupos de áreas afins, segundo a metodologia descrita abaixo:

- Química (inclui química, físico-química, química analítica, química orgânica, química de produtos naturais, produtos naturais e sintéticos bioativos).
- Genética e biologia molecular (inclui biologia celular e molecular, biologia molecular, genética, genética e biologia molecular, e genética e evolução).
- Aquicultura (inclui aquicultura e recursos pesqueiros e aquicultura).
- Alimentos (inclui engenharia e ciência de alimentos, ciência dos alimentos, engenharia de alimentos e ciência e tecnologia de alimentos).
- Bioquímica (inclui bioquímica, bioquímica e fisiologia, farmácia, farmacologia, ciências farmacêuticas, química biológica, toxicologia e análises toxicológicas).
- Biotecnologia (inclui biotecnologia animal, biotecnologia vegetal e biotecnologia marinha).
- Ciências do mar (inclui biologia ambiental, biologia aquática, biologia marinha, ciências marinhas tropicais, oceanografia e oceanografia biológica).
- Engenharia da pesca.
- Botânica (inclui botânica e fitopatologia).

- Microbiologia
- Fisiologia (inclui ciências fisiológicas, fisiologia e fisiologia geral).
- Ciências da saúde (inclui ciências da saúde, neuroimunobiologia, fisiopatologia clínica experimental e patologia bucodental).
- Ecologia (inclui ecologia e desenvolvimento e meio ambiente).
- Outros (inclui biociências nucleares, zootecnia e ciências morfológicas).

Recentemente (2015) foi criada a pós-graduação em biotecnologia marinha pelo IEAPM, em colaboração com diversos profissionais de instituições do Rio de Janeiro e de São Paulo. Essa proposta foi aprovada ao final de 2015 pela Capes. A avaliação trienal foi recentemente realizada pelos assessores da Capes. Como fato relevante, constata-se que vários alunos desses cursos de pós-graduação elaboraram suas teses em algas marinhas e foram absorvidos pela academia em concursos públicos, após 2005.

3.4. Redes de pesquisa em biotecnologia marinha

Como já mencionado, a Redealgas é uma rede de pesquisa cuja criação constitui uma plataforma importante para a elaboração de políticas públicas, programas e demais ações de fomento em ciência e tecnologia. Foi criada como resultado de uma oficina de trabalho intitulada Potencial Biotecnológico das Macroalgas Marinhas, realizada no período de 3 a 5 de maio de 2005, em Angra dos Reis (RJ), reunindo cerca de 50 pesquisadores e empresários, com apoio do MCT e do CNPq. Durante esse encontro, a comunidade científica, órgãos governamentais e empresas envolvidas na produção e no aproveitamento das macroalgas elaboraram um mapeamento das competências multidisciplinares existentes em diferentes áreas de pesquisa científica e tecnológica em macroalgas marinhas, definindo estratégias para a implementação da Redealgas.

A Redealgas reúne um grande número de pesquisadores colaboradores de várias instituições como a UFC (Ceará), UFPB (Paraíba), UFRN (Rio Grande do Norte), UFPE e UFRPE (Pernambuco), UFBA e UEFS (Bahia), Ufes (Espírito Santo), UFRJ, UFRRJ, Uni-Rio, Uerj, UFF e Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ) (Rio de Janeiro), USP, IBT-SP e Unesp (São Paulo), UFPR (Paraná), UFSC e Univali (Santa Catarina), UFRGS, UFPel e Furg (Rio Grande do Sul), e outras. Tais pesquisadores-colaboradores distribuem-se pelas seguintes áreas temáticas: mapeamento da diversidade de macroalgas; ecologia, manejo e conservação; fisiologia; maricultura e uso sustentável; isolamento e identificação de moléculas; caracterização de moléculas bioativas; desenvolvimento de produtos; proteção da propriedade intelectual e produção de insumos de aplicação industrial.

Com o intuito de avaliar as ações realizadas e discutir estratégias para alavancar novas chamadas, os colaboradores da Redealgas voltaram a reunir-se nos dias 27 e 28 de julho de 2009, durante o II Workshop em “Novos Bioativos de Macroalgas: manejo e cultivo, conservação, biotecnologia e técnicas de bioatividade”, realizado em Ilhabela, SP.

O III Workshop da Redealgas foi realizado no período de 13 a 16 de julho de 2011, na cidade de Paty do Alferes, Rio de Janeiro¹⁶, sob o tema “Biodiversidade, Aplicações Tecnológicas e Sustentabilidade”. Um dos resultados mais relevantes do encontro foi a edição, em volume especial, da Revista Brasileira de Farmacognosia, com 30 artigos completos dos principais estudos realizados no Brasil, apresentando um panorama dos esforços de investigação atual nas áreas de cultivo de maricultura e da propagação de macroalgas marinhas. O evento reuniu 150 participantes, entre pesquisadores, acadêmicos, jovens estudantes e profissionais da indústria. No período, foram ministrados dois cursos rápidos em sofisticadas técnicas utilizadas no setor.

¹⁶ <http://www.workshopredealgas2011.uff.br/> .

Como evento destacado em 2013, cabe indicar o IV Congresso Latino-americano de Biotecnologia de Algas e o IV Workshop da Redealgas – “Desafios à Conservação e ao Desenvolvimento Sustentável”, organizados, em Florianópolis, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com o Comitê Gestor da Redealgas, no período de 18 a 22 de novembro de 2013, criando forte integração entre estudantes, especialistas, mestres e doutores dos diversos segmentos da Biotecnologia ligada às algas marinhas e de águas continentais. Por conta de sua natureza interdisciplinar, o IV Claba e o IV Workshop da Redealgas ofereceram oportunidades para profissionais das mais variadas áreas: Engenharia de Aquicultura, Botânica, Engenharia Ambiental, Ecologia, Oceanografia, Biologia Marinha, Bioquímicos, Biologia Molecular e Química de Produtos Naturais, entre outras.

O evento contou com a participação de 373 congressistas, assim distribuídos: 87 alunos de graduação, 136 pós-graduandos, mestrands ou doutorandos, além de 150 profissionais atuantes no setor privado, organizações não governamentais e em órgãos públicos, oriundos de municípios brasileiros e de diversas localidades da Argentina, do Chile, da Colômbia e do México. Contou, ainda, com a participação de pesquisadores dos Estados Unidos da América, do Canadá, de Portugal, do Reino Unido e da Espanha.

O IV Workshop da Redealgas foi realizado sob o tema “Biotecnologia e Sustentabilidade” no período de 8 a 13 de novembro de 2015, no município de Arraial do Cabo (RJ), nas dependências do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Como resultado deste evento, o *Journal of Applied Phycology* (2017, v. 29, fasc. 2) publicou uma edição especial com 16 artigos apresentados. A reunião contou com cerca de 140 participantes, constituídos por alunos de graduação e pós-graduação e pesquisadores.

O V Workshop da Redealgas foi realizado no período de 26 a 30 de novembro de 2017 também sob o tema “Biotecnologia e Sustentabilidade”. O IEAPM sediou mais uma vez o evento, que contou com a presença de cerca de 130 participantes da comunidade acadêmica. O *Journal of Applied Phycology* também irá publicar os trabalhos de maior destaque apresentados no evento.

O comitê executivo da Redealgas estabeleceu o IEAPM como sede fixa para a realização dos próximos eventos da Redealgas, pela facilidade de deslocamento e de estadia dos participantes.

A ativação da Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio) vinha sendo discutida desde 1998, mas somente em 2003 teve o protocolo de colaboração celebrado, após a definição de uma proposta conceitual que deu margem ao recebimento de recursos do MCT para financiamento dos projetos de pesquisa (Edital BNB/Fundeci/Renorbio/2004). Nenhum projeto na área marinha recebeu aprovação nesse edital. Em 2004, criou-se, formalmente, a rede de colaboração, definindo sua estrutura e seus objetivos.

Sua proposta científica, com foco nos grupos de pesquisa do Nordeste, é estabelecer e estimular a massa crítica de profissionais na região, com competência em biotecnologia e áreas afins, para executar projetos de P, D & I de importância para o desenvolvimento da região. O Núcleo de Pós-Graduação (NPG) e a constituição de plataformas para a execução de projetos de P, D & I, em rede, são seus principais pilares. O NPG tem caráter multi-institucional e tem como objetivos: formar pessoal qualificado para o exercício da pesquisa e do magistério superior no campo da biotecnologia; incentivar a pesquisa na área da biotecnologia, sob perspectiva multi e interdisciplinar; produzir, difundir e aplicar conhecimento da biotecnologia na realidade econômica e cultural da região Nordeste.

Em longo prazo, espera-se que o NPG, na medida em que possibilita a interação de instituições de ensino e pesquisa, nacionais e internacionais, e o aproveitamento da massa crítica existente na região Nordeste, contribua para o processo de consolidação da Rede Nordeste de Biotecnologia e para o efetivo e sistemático desenvolvimento da biotecnologia no país. Integram a iniciativa do NPG do Renorbio 33 instituições de ensino e pesquisa em todos os estados do Nordeste e no Espírito Santo

(UFES).

Foi criada, em 2011, a Rede Social de Biotecnologia, principalmente para integrar e facilitar discussões, *networking* e o comércio de produtos e serviços da área. Dentro dessa rede há vários representantes da área marinha. É, sem dúvida, uma iniciativa muito importante e pode ser conferida no sítio <http://www.biotechspace.com.br/home>.

Outras redes importantes que prestigiam setores da biotecnologia marinha são a Rede Cooperativa de Pesquisa em Combustão e Emissões de Biodiesel e Combustíveis Alternativos (Recombio), que reúne UFBA, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb), Universidade Estadual de Santa Cruz (Uesc), UFPE, UFPB, Universidade Federal de Sergipe (UFS), UFRJ, Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Uni-Salvador (Unifacs), Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (Cefet-BA)¹⁷, e a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel¹⁸, na qual estão presentes grupos que pretendem atuar ou já estão atuando na área de biodiesel, a partir de algas marinhas (micro e macroalgas).

A partir da abertura do edital para Redes em Biotecnologia Marinha pelo CNPq (chamada 63/2013) foram estabelecidas novas redes: a Rede Sao-Mar – Rede de Pesquisas Biotecnológicas de Substâncias Antioxidantes de Organismos Marinhos; a Rede Marativo – micro-organismos marinhos como fonte biotecnológica na produção de moléculas bioativas; a Rede Avançada de Pesquisa em Biotecnologia Marinha; e a Rede Bioreef – bioprospecção de compostos bioativos de organismos recifais com potencial aplicação biotecnológica. Inexplicavelmente, a única rede em biotecnologia marinha, formada em 2005, a Redealgas, com projeção internacional e reunindo os pesquisadores mais produtivos da área, não foi contemplada pelo edital do CNPq.

4. Conclusões e sugestões

O uso crescente de produtos marinhos em alimentos, cosméticos, indústrias e agricultura vem criando uma demanda de profissionais qualificados no setor. Não há dúvida de que é necessária a formação de recursos humanos, na área de biotecnologia marinha, sensíveis às necessidades de crescimento da indústria. Empresas farmacêuticas centradas no desenvolvimento de novos medicamentos, a partir dos recursos marinhos, agora requerem pessoal qualificado, com experiência em biologia marinha, microbiologia, química, genômica, bioinformática, entre outras áreas de conhecimento. Grandes centros de pesquisa em biotecnologia marinha no mundo investem nesse enfoque: a multidisciplinaridade. Portanto, a formação multidisciplinar é necessária para preencher essa lacuna no desenvolvimento da área no Brasil.

Em 2009, a Cirm recomendou, ao Comitê Executivo para a Consolidação e Ampliação dos Grupos de Pesquisa e Pós-graduação em Ciências do Mar (PPG-Mar), apoio à criação de uma disciplina de biotecnologia marinha nos cursos de graduação. Essa recomendação pode, no futuro, contribuir para despertar e/ou ampliar o interesse de alunos, nessa área. Os cursos de graduação em biologia marinha, oceanografia e áreas afins ainda não implementaram tal recomendação, em muitos casos por falta de profissional competente na área.

Outro aspecto importante é a necessidade de privilegiar as redes nacionais existentes e estimular a criação de novas redes de pesquisa, nas subáreas de biotecnologia marinha. A formação de Rede Nacional de Biotecnologia Marinha pode ser incentivada a partir da Redealgas, com a entrada de novos grupos.

As agências de fomento devem estimular o conhecimento da biodiversidade marinha como fonte de novos fármacos e outros produtos industriais de modo sustentável, incentivar a proteção da propriedade intelectual por patentes, valorizar os grupos com histórico de atuação na área e que

¹⁷ <http://www.cienam.ufba.br/recombio.html> .

¹⁸ <http://www.biodiesel.gov.br> .

devem ser estimulados e nela permanecer, pois foram formados a partir da união de especialistas marinhos, biotecnólogos, químicos, bioquímicos etc..

Devem, também, estimular a entrada de grupos experientes na área de biotecnologia para a área marinha e a formação de um programa de pós-graduação em biotecnologia marinha ou estimular a inserção do tema nas pós-graduações já existentes na área de ciências do mar ou biotecnologia.

As universidades devem estimular a criação de disciplina em biotecnologia marinha nos cursos de graduação em ciências biológicas e na área marinha (biologia marinha, oceanologia, oceanografia), preparando os futuros profissionais para a ciência do amanhã. Essa formação é de real valor para os profissionais da área de ciências do mar.

SUGESTÕES:

- **FORMAR** recursos humanos competentes na área de biotecnologia marinha, sintonizados com as necessidades de crescimento da indústria, uma vez que a formação multidisciplinar é necessária para preencher essa lacuna no desenvolvimento da área no Brasil.
- **CRIAR** uma disciplina de biotecnologia marinha nos cursos de graduação da área, para despertar e/ou ampliar o interesse de alunos nesta área.
- **PRIVILEGIAR** as redes nacionais existentes e estimular a criação de novas redes de pesquisa nas subáreas de biotecnologia marinha. Criação de “redes” artificiais, assim como aconteceu no edital do CNPq de 2013, apenas para participar de editais deve ser repudiada.
- **CRIAR** a Rede Nacional de Biotecnologia Marinha com o modelo a partir da Redealgas, com a entrada de novos grupos.
- **ESTIMULAR** o conhecimento da biodiversidade marinha, como fonte de novos fármacos e outros produtos industriais, de modo sustentável.
- **INCENTIVAR** a proteção da propriedade intelectual por patentes relacionadas à biotecnologia marinha.
- **VALORIZAR** os grupos com histórico de atuação na área e que devem ser estimulados a nela permanecer.
- **ESTIMULAR** a inserção de grupos experientes na área de biotecnologia para a área marinha, como a Redealgas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, L. S.; STREIT, N.; COSTA, D.; SEUS, E. R.; ANDRADE, C. F. F.; PEREIRA, C. M. P.; COLEPICOLO, P.; DIAS, D. Systematic evaluation of sample preparation method for simultaneous voltammetric determination of Zn, Cd, Pb, and Cu in macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 595-605, 2017.
2. BERGMANN, W. AND FEENEY, R. J. Contributions to the study of marine products. XXXII. The nucleosides of sponges. *I. J. Org. Chem.*, v. 16, p.981-987, 1951.
3. BERNARDI, J.; VASCONCELOS, E.; LHULLIER, C.; COLEPICOLO, P.; PELLIZZARI, F. M. Dados preliminares de La actividade antioxidante de algas verdes (Ulvophyceae) del Atlantico del Sur y de las islas maritimas de la Antartica. *Hidrobiológica*, v. 26, p. 233, 2016.
4. BLUNT, J. H.; COPP, B. R.; KEYZERS, R. A.; MUNRO, M. H. G.; PRINSEP, M. R. Marine natural products. *Natural Products Reports*, v. 31, p. 160-258, 2014.
5. 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 - C Toxicology and Pharmacology*, v. 146, n. 1-2, p. 60-78, 2006.
6. CARDOZO, K.H.M.; VESSECCHI, R.; GALEMBECK S. E.; GUARATINI, T.; GATES, P.J.; PINTO, E.; LOPES, N. P.; COLEPICOLO, P. A Fragmentation Study of Di-Acidic Mycosporine-like Amino Acids in Electrospray and Nanospray Mass Spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, p. 1625-1631, 2009.
7. COLLEN, P. N.; COLLEN, J.; SILVA REIS, M.; PEDERSEN, M.; SETUBAL, J. C.; VARANI, A. M.; COLEPICOLO, P.; OLIVEIRA, M. C. Analysis of expressed sequence tags from the agarophyte *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, v. 1, p. 1-12, 2011.
8. CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Resultado do edital MCT/CNPq/MS-SCTIE-DECIT/CT-Saúde n.010/2006. 2006. Disponível em: <http://www.cnpq.br/resultados/2006/index.htm> . Acesso em: fev.2010.
9. CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Resultados do Edital MCT/CNPq/SEAP-PR-nº26/2008. 2008. Disponível em: <http://www.cnpq.br/resultados/index.htm> . Acesso em: fev.2010.
10. CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Resultados do edital MCT/CNPq/CT-Petro-nº39/2009. 2009. Disponível em: <http://www.cnpq.br/resultados/index.htm> . Acesso em: fev.2010.
11. COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. Banco de teses. 2009. Disponível em: <http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/>. Acesso em: out. 2009.
12. COSTA-LOTUFO, L. V.; JIMENEZ, P. C.; EPIFANIO, R. A. Organismos marinhos como fonte de novos fármacos: histórico e perspectivas. *Química Nova*, v. 32, n.3[5.1.], p.703-716, 2009.
13. FALKENBER, M.; NAKANO, E.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; ZATELLI, G. A.; PHULIPPUS, A. C.; IMAMURA, K. B.; VELASQUEZ, A. M. A.; FREITAS, R. P.; DE FREITAS TALLARICO, L.; COLEPICOLO, P.; GRAMINHA, M. A. S. Bioactive compounds against neglected diseases isolated from macroalgae: a review. *Journal of Applied Phycology*, p. 1-27, 2018.
14. FERNANDES, D. R. P.; OLIVEIRA, V. P.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y. 2014. Seaweed

- biotechnology in Brazil: six decades of studies on natural products and their antibiotic and other biological activities. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p. 1923–1937.
15. GAMBATO, G.; BARONI, E. G.; GARCIA, C. S. C.; FRASSINI, R.; FROZZA, C. O. S.; MOURA, S.; PEREIRA, C. M. P.; FUJII, M. T.; COLEPICOLO, P.; LAMBERT, A. P. F.; HENRIQUES, J. A. P.; ROESCH-ELY, M. Brown Algae *Himantothallus grandifolius* (Desmarestiales, Phaeophyceae) Suppresses Proliferation and Promotes Apoptosis-Mediated Cell Death in Tumor Cells. *Advances in Biological Chemistry*, v. 4, p. 98-108, 2014.
 16. GRESSLER V.; COLEPICOLO, P.; PINTO, E. Useful Strategies for Algal Volatile Analysis. *Current Analytical Chemistry*, v. 5, p. 271-292, 2009.
 17. 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* (Kützing) Sonder ex Dickie and *Gracilaria birdiae* (Plastino & Oliveira). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 22, p. 724-729, 2012.
 18. HAEFNER, B. Drugs from the deep: marine natural products as drug candidates. *Kidlington, Eng.: Drug Discov.Today*, v.8, n.12, p.536-544, 2003.
 19. INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Banco de Patentes, 2010. Disponível em: www.inpi.gov.br . Acesso em 29 mar. 2010.
 20. MACHADO, L. P.; CARVALHO, L. R.; YOUNG, M. C. M.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; COLEPICOLO, P.; ANDREGUETTI, D. X.; YOKOYA, N. S. Comparative chemical analysis and antifungal activity of *Ochtodes secundiramea* (Rhodophyta) extracts obtained using different biomass processing methods. *Journal of Applied Phycology*, v. 26, p.2029-2035, 2014.
 21. MACHADO, L. P.; CARVALHO, L. R.; YOUNG, M. C. M.; CARDOSO-LOPES, E. M.; CENTENO, D. C.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; COLEPICOLO, P.; YOKOYA, N. S. Evaluation of acetylcholinesterase inhibitory activity of Brazilian red macroalgae organic extracts. *Revista Brasileira de Farmacognosia – Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 25, p. 657-662, 2015.
 22. MARINHO-SORIANO, E.; PINTO, E.; YOKOYA, N. S.; COLEPICOLO, P.; TEIXEIRA, V. L.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y. Frontiers on algae bioactive compounds. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 21, n. 2, p. 1-2, 2011.
 23. MARINHO-SORIANO, E.; PINTO, E.; YOKOYA, N. S.; COLEPICOLO, P.; TEIXEIRA, V. L.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y. New insights on algal products and bioprospection in Brazil: pharmaceutical, cosmetic and public health applications. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 22: Editorial, 2012.
 24. MARTINS, A. P.; COLEPICOLO, P.; YOKOYA, N. S. Comparison of extraction and transesterification methods on the determination of the fatty acid contents of three Brazilian seaweed species. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 22, p. 854-860, 2012.
 25. MARTINS, R. M.; NEDEL, F.; GUIMARAES, V. B. S.; DA SILVA, A.F.; COLEPICOLO, P.; DE PEREIRA, C. M. P.; LUND, R. G. Macroalgae Extracts From Antarctica Have Antimicrobial and Anticancer Potential. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, p. 412, 2018.
 26. MESKO, M. F.; PICOLOTO, R. S., FERREIRA, L. R.; COSTA, V. C.; PEREIRA, C. M. P.; COLEPICOLO, P.; MULLER, E. I.; FLORES, E. M. M. Ultraviolet radiation combined with microwave-assisted wet digestion of Antarctic seaweeds for further determination of toxic elements by ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, p. 30, p.260-266, 2015.
 27. PEREIRA, C. M. P.; NUNES, CAMILA, F. P., ZAMBOTTI-VILLELA, L, STREIT, NM,

- DIAS, D, PINTO, E, GOMES, CB, COLEPICOLO, P(2017). Extraction of sterols in brown macroalgae from Antarctica and their identification by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 751-757, 2017.
28. PELLIZZARI, F. M.; SILVA, M. C.; SILVA, E. M.; MEDEIROS, A.; OLIVEIRA, M. C.; YOKOYA, N. S.; PUPO, D.; ROSA, L. H.; COLEPICOLO, P (2017). Diversity and spatial distribution of seaweeds in the South Shetland Islands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate change scenarios. *Polar Biology*. v. 40, p. 1–15.
 29. PICOLOTO, R. S.; PEREIRA, R. M.; COSTA, V. C.; HARTWIG, C. A.; DE PEREIRA, C. M. P.; COLEPICOLO, P.; DUARTE, F. A.; MESKO, M. F. Investigating essential and toxic elements in Antarctic macroalgae using a Green analytical method. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 741-749, 2017.
 30. POMPONI, S. A. The ocean and Human health: the discovery and development of marine derived drugs. Aberdeen, Scotland: *Oceanography*, v.14, n.1, p. 71-87, 2001.
 31. RANGEL, K.; DEBONSI, H. M.; CLEMENTINO, L. C.; ZAMBOTTI-VILLELA, L.; GRAMINHA, M. A. S.; COLEPICOLO, P.; GASPARGAR, L. R. Antileishmanial activity of the Antarctic red algae *Iridaea cordata* (Gigartinales; Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, p. 1-10, 2018.
 32. REIS, M. O.; NECCHI, O. J. R.; COLEPICOLO, P.; BARROS, M. P. Co-stressors chilling and high light increase photooxidative stress in diuron-treated red alga *Kappaphycus alvarezii* but with lower involvement of H₂O₂. *Pesticide Biochemistry and Physiology* v. 99, p.7-15, 2011.
 33. SANTOS, M. A. S.; COLEPICOLO, P.; PUPO, D.; FUJII, M. T.; DE PEREIRA, C. M. P.; MESKO, M. F. Antarctic red macroalgae: a source of polyunsaturated fatty acids. *Journal of Applied Phycology*, v. 29, p. 759-767, 2017.
 34. STEIN, E. M.; MACHADO, L. P.; ROFFATO, H. K.; MIYASATO, P. A.; NAKANO, E.; COLEPICOLO, P.; ANDREGUETTI, D. X. Antischistosomal activity from Brazilian marine algae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.25, p. 663-667, 2015.
 35. TEIXEIRA, V. L. A Cura que vem do mar. *Scientific American Brasil*, São Paulo: v. 4, p.77-82, 2009. Série Oceanos.
 36. TORRES, F. A. E.; PASSALACQUA, T. G.; VELASQUEZ, A. M. A.; SOUZA, R. A.; COLEPICOLO, P.; GRAMINHA, M. A. S. New drugs with antiprotozoal activity from marine algae: a review. *Revista Brasileira de Farmacognosia – Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 24, n. 3, p. 265- 276, 2014.
 37. TORRES, M. A.; BARROS, M. P.; CAMPOS, S. C. G.; PINTO, E.; SAYRE, R. T.; COLEPICOLO, P. Biochemical Biomarkers in Algae and Marine Pollution: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 71, p. 1-15, 2008.
 38. VIEIRA, A. P.; STEIN, E. M.; ANDREGUETTI, D. X.; COLEPICOLO, P.; FERREIRA, A. M. C. Preparation of silver nanoparticles using aqueous extracts of the red algae *Laurencia aldingensis* and *Laurenciella* sp. and their cytotoxic activities. *Journal of Applied Phycology*, v. 28, p. 2615-2622, 2016.
 39. WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. Banco de Patentes. Disponível em: www.wipo.int. Acesso em: 29 mar. 2010.