



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA**



VANESSA SIMÕES DO NASCIMENTO

**Contribuições ao cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao
1996 e seus impactos socioambientais no Nordeste do Brasil.**

JOÃO
PESSOA 2025

VANESSA SIMÕES DO NASCIMENTO

Contribuições ao cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996 e seus impactos socioambientais no Nordeste do Brasil.

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Desenvolvimento e
Meio Ambiente da Universidade
Federal da Paraíba, para obtenção do
título de Mestre.

Orientador: GEORGE EMMANUEL
CAVALCANTI DE MIRANDA

JOÃO
PESSOA 2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N244c Nascimento, Vanessa Simões do.

Contribuições ao cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996 e seus impactos socioambientais no Nordeste do Brasil / Vanessa Simões do Nascimento. - João Pessoa, 2025.

54 f. : il.

Orientação: George Emmanuel Cavalcanti de Miranda.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Macroalgas - Cultivo sustentável. 2. Legislação ambiental. 3. Monitoramento ambiental. I. Miranda, George Emmanuel Cavalcanti de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 574.5(043)

VANESSA SIMÕES DO NASCIMENTO

Contribuições ao cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996 e seus impactos socioambientais no Nordeste do Brasil.

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA- da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção de Títulos de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

ATA da 607ª Sessão Pública de Defesa de Dissertação de VANESSA SIMÕES DO NASCIMENTO do Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Mestrado, na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Aos vinte e oito dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 14h00min, reuniram-se por videoconferência, nos termos do art. 82 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação "stricto sensu" da UFPB, anexo à Resolução CONSEPE no 79/2013, a Banca Examinadora, composta pelos professores(as) doutores(as):GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA, orientador, PABLO RIUL - UFPB, examinador(a) interna(a) ao Programa, e KARINA MASSEI examinador(a) externa(a). Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do(a) presidente da banca, GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou a candidata que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "Contribuições ao cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* Doty ex p.c. Silva (Rhodophyta, Gigartinales) e seus impactos socioambientais no Nordeste do Brasil.". Concluída a exposição, o(a) professor(a) Dr(a)GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA, presidente, passou a palavra o(a) professor(a) Dr(a) KARINA MASSEI, para arguir o(a) candidato(a), em seguida, ao(a) professor(a) Dr(a) PABLO RIULpara fazer o mesmo. Após alguns comentários sobre a defesa, o(a) presidente da banca examinadora solicitou a retirada da platéia para que a banca pudesse proceder com a avaliação do(a) discente em sessão secreta. Na sequência, a banca examinadora atribuiu o conceito (APROVADA), conforme o art. 83 do anexo à Resolução CONSEPE-UFPB Nº 79/2013.

Prof. Dr. GEORGE E. C. DE MIRANDA.

Documento assinado digitalmente
govbr GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA
Data: 29/01/2025 14:30:31-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Presidente/Orientador(a)

Prof Dr. PABLO RIUL

Documento assinado digitalmente
govbr PABLO RIUL
Data: 01/02/2025 11:55:09-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Membro interno/PRODEMA

Profa. Dra. KARINA MASSEI

Documento assinado digitalmente
govbr KARINA MASSEI
Data: 29/01/2025 22:05:48-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Avaliador(a) externo

Dedico este trabalho à minha família, amigos e professores, pelo apoio constante e compreensão durante toda a jornada acadêmica e pessoal. Sem o incentivo e suporte de vocês, este momento não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a todos os amigos e professores que conheci durante essa caminhada e que contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado. Sem o apoio, orientação e incentivo de tantas pessoas maravilhosas, este trabalho não teria sido possível.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador, professor George Miranda pela orientação, paciência e compreensão, ao professor Dário Teixeira, por os feedback, e inspiração ao longo de todo o processo.

Aos meus pais, irmã, namorada, tias, sobrinhas e amigos pelo gesto de carinho e apoio emocional. A minha sobrinha Sol por varias noites sem dormir, só me observando enquanto eu escrevia esta dissertação. A todos os professores, funcionários, e aos meus colegas de turma PRODEMA 2022, aos amigos que fiz no laboratório e os que colaboraram com a minha pesquisa. As pessoas que me acolheram nas suas casas, quando eu precisei ficar em João Pessoa, Tamar, Juliana, Henrique, Yasmim, Rafael e Alessandro, o meu sincero agradecimento por todo o acolhimento e troca de conhecimento.

Agradeço também, os barqueiros Edison e Ronaldo de Pitimbu, cujas contribuições foram vitais para a obtenção de insights valiosos, este estudo não teria sido completo sem a participação de vocês. À UFPB, à coordenação local PRODEMA por desempenhar tão bem seu papel ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – com o financiamento (88887.715105/2022-00).

Por último, mas não menos importante, agradeço a todas as fontes de conhecimento literário e recursos que utilizei ao longo desta dissertação. Que este trabalho possa contribuir para o avanço do conhecimento e para a sociedade como um todo. Obrigada a todos que fizeram parte desta jornada!

As pessoas têm medo das mudanças.
Eu tenho medo que as coisas nunca
mudem.

Chico Buarque

RESUMO

Este estudo avalia a viabilidade do cultivo sustentável de *Kappaphycus alvarezii* no Nordeste brasileiro, com foco em Pitimbu (PB), abordando aspectos jurídicos, técnicos e socioambientais. A pesquisa busca promover o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, justificando a liberação do cultivo experimental dessa macroalga. A metodologia combina revisão bibliográfica sobre licenciamento ambiental e manejo sustentável, monitoramento ambiental em três áreas amostrais em Pitimbu e análise laboratorial das macroalgas coletadas. Foram realizados mergulhos livres e captura de imagens subaquáticas para estimar a cobertura de macroalgas em substratos, utilizando o sistema CoralNet. As amostras foram analisadas e classificadas nos grupos Chlorophyta, *Phaeophyta* e *Rhodophyta*. Análises estatísticas, como ANOVA, foram aplicadas para verificar diferenças na cobertura de macroalgas entre as áreas estudadas.

Os resultados não identificaram a presença de *K. alvarezii* fora das áreas de cultivo, corroborando seu baixo potencial invasivo. O estudo conclui que o cultivo controlado dessa macroalga é ambientalmente seguro e oferece oportunidades de desenvolvimento sustentável, desde que acompanhado por regulamentação adequada e políticas públicas que promovam a inclusão social e conservação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Legislação ambiental; sustentabilidade; macroalgas; monitoramento ambiental

ABSTRACT

This study examines the feasibility of sustainable cultivation of *Kappaphycus alvarezii* in Northeastern Brazil, focusing on Pitimbu (PB), and addresses legal, technical, socio-environmental, and statistical aspects. The research aims to balance economic development with environmental conservation, supporting the authorization of experimental cultivation of this macroalga. The methodology includes a literature review, environmental monitoring in three sample areas, and laboratory analyses. Free diving and underwater imaging were used to estimate macroalgae coverage on substrates, with data analyzed using the CoralNet system. The samples were categorized into *Chlorophyta*, *Phaeophyta*, and *Rhodophyta* groups. Statistical analyses, such as ANOVA, were conducted to assess differences in macroalgae coverage across the studied areas. The results did not detect the presence of *K. alvarezii* outside cultivation zones, supporting its low invasive potential. The study concludes that controlled cultivation is environmentally safe and presents potential for sustainable development, provided it is regulated and monitored through appropriate public policies.

KEYWORDS: Environmental legislation; sustainability; macroalgae; environmental monitoring.

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1: Imagem da balsa de cultivo de *Kappaphycus alvarezii* em Pitimbu- PB.

FIGURA 2: Linha do tempo do marco histórico sobre a introdução e a legislação da *Kappaphycus alvarezii* no Brasil

FIGURA 3: Mapa de localização do município de Pitimbu no Estado da Paraíba

FIGURA 4: Balsa de cultivo georeferenciada no QGIS.

FIGURA 5: Posição das áreas amostrais de monitoramento que foram observados.

FIGURA 6: Estrutura de PVC para fixar câmera digital em caixa estanque

FIGURA 7: Exemplares das algas encontradas nas áreas de coletas, separadas por cores.

FIGURAS 8: Imagem tirada com câmera fotográfica através de mergulho com auxílio da estrutura de PVC onde não se encontrou *Kappaphycus alvarezii* nos substratos

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Indicações de coordenadas geográficas e detalhes sobre o tipo de monitoramento realizado em cada ponto de observação.

TABELA 2. Algas identificadas em Laboratório.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. Algas do gráfico identificadas no CoralNet: *Caulerpa crupressoides*; *Caulerpa prolifera*; *Caulerpa sertularioides*; *Caulerpa mexicana*; *Dictyopteris jamaicensis*; *Dictyota ssp.*; *Lobophora variegata*; algas calcárias articuladas (ACC) e Algas Calcárias encrustantes (ACE); *Padina spp*; *Penicillus spp.* ; *Sargassum spp.*; *Turf algae*; *Udotea flabellum*; *Dictyota cervicornis*.

GRÁFICO 2. Cobertura total dos três recifes rasos.

GRÁFICO 3. Estimadores de riqueza de macroalgas para três diferentes áreas amostrais em complexo recifal. Sobs: número real de espécies observadas. Bootstrap: número esperado de espécies. Linha superior e inferior indicam intervalo de confiança de 95%.

GRÁFICO 4. Boxplot do índice de diversidade de Shannon para as três áreas amostrais, considerando o valor de diversidade gerado para cada amostra de imagem de cada local. Triângulo: Média. Linha Horizontal: Mediana. Círculos: *Outlier*. Limite inferior e superior da caixa: primeiro e terceiro quartil.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMBAP - Associação de Maricultores e Beneficiamento de Algas

APAMLN - Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EAJ - Escola Agrícola de Jundiaí

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IN - Instrução Normativa

LAM - Laboratório de Ficologia: Cultivo de Macroalgas da Universidade Federal da Paraíba - UFPB

K. alvarezii - *Kappaphycus alvarezii*

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NE - Nordeste

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PB - Paraíba

PLDM - Plas Locais de Desenvolvimento da Marinha

RJ - Rio de Janeiro

RN - Rio Grande do Norte

SC – Santa Catarina

SP - São Paulo

SISBIO - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

UC - Unidade de Conservação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 1: Marco Legal e Sustentabilidade: A introdução da Macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> L.M.Liao 1996 no Brasil e o pontencial Socioambiental.....	20
INTRODUÇÃO	22
MATERIAS E MÉTODOS	23
CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE	23
CONCLUSÃO	28
CAPÍTULO 2: Monitoriamento ambiental de <i>Kappaphycus alvarezii</i> L.M.Liao 1996. Um estudo de caso no município de Pitimbu – PB.....	29
INTRODUÇÃO	32
MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS	48

INTRODUÇÃO

A macroalga *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996, pertencente ao filo *Rhodophyta* e à ordem *Gigartinales*, é originária da região tropical do Indo-Pacífico (Reis, 2007; Pereira et al., 2022). O crescente interesse econômico por essa espécie decorre, principalmente, de seu elevado teor de carragenana, um polissacarídeo amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética como agente espessante e gelificante. Esse composto é fundamental para a fabricação de diversos produtos, impulsionando a expansão do cultivo de *K. alvarezii* em diferentes partes do mundo e promovendo benefícios econômicos significativos, alinhados às diretrizes da Meta 2.4 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao fomentar oportunidades de emprego e estimular a economia das comunidades costeiras (Chauton et al., 2021; Bayu, 2022; Santamarina et al., 2023; Mozart et al., 2023), (ONU, 2015).

Além de seu valor econômico, *Kappaphycus alvarezii* apresenta um perfil nutricional relevante, caracterizado por altos teores de umidade e fibras, incluindo fibras solúveis e insolúveis, que contribuem para a saúde intestinal e incentivam o desenvolvimento de alimentos funcionais à base de algas (Khotijah et al., 2020). Adicionalmente, a presença de fitoquímicos com propriedades antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias agrega ainda mais valor à alga, tornando-a uma alternativa promissora para a produção de produtos farmacêuticos e nutracêuticos, beneficiando tanto o consumo humano quanto animal (Jalas et al., 2023; Hans et al., 2023; Alcantara et al., 2020). Esses fatores reforçam sua importância na diversificação da economia e no fortalecimento da resiliência das comunidades costeiras, contribuindo para a redução da pobreza (ODS Meta 1.1), (ONU, 2015).

No Brasil, a introdução de *Kappaphycus alvarezii* ocorreu em 1995, na região de Ubatuba, São Paulo, e posteriormente expandiu-se para a Baía da Ilha Grande e Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro, em caráter experimental. Desde então, seu cultivo tem sido explorado em outras regiões, incluindo Pitimbu (Paraíba) a partir de 2005, Santa Catarina em 2008 (Araújo et al., 2013; Hayashi et al., 2011) e Rio Grande do Norte em anos subsequentes, sob condições experimentais e controladas (Costa, 2024).

A introdução dessa espécie no Nordeste brasileiro, onde as condições climáticas e oceanográficas são propícias, apresenta um grande potencial para impulsionar o desenvolvimento de uma maricultura sustentável (Silva Neto, 2020). No entanto, a ausência de regulamentação específica para o cultivo dessa macroalga na região suscita questionamentos sobre as razões que impedem sua legalização. O principal debate envolve a

avaliação de riscos ambientais e socioeconômicos, sendo que estudos indicam um baixo risco invasivo para *Kappaphycus alvarezii* em condições controladas, o que poderia viabilizar sua utilização industrial sem comprometer ecossistemas locais (Araújo et al., 2020; Abdullaevich, 2023; Mantri et al., 2024).

A produção de *K. alvarezii* pode desempenhar um papel estratégico na promoção da equidade de gênero no setor da maricultura, uma vez que a participação ativa das mulheres nesse segmento tem sido um fator determinante para a garantia de oportunidades igualitárias e empoderamento econômico Aquícola (ODS Meta 5.5), (ONU, 2015). O envolvimento feminino na cadeia produtiva da macroalga, desde o cultivo até a comercialização, reforça a necessidade de políticas públicas que incentivem a inclusão e o fortalecimento desse grupo no setor pesqueiro e aquícola (Junior, Paulo Torres et al, 2022). Além disso, a facilitação do acesso dos pescadores artesanais de pequena escala aos recursos marinhos e mercados (ODS Meta 14.b), (ONU, 2015) pode contribuir para a sustentabilidade econômica e social das comunidades tradicionais, reduzindo desigualdades e promovendo o desenvolvimento local.

Dessa forma, esta dissertação parte da hipótese de que o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no Nordeste do Brasil representa um baixo risco ambiental, uma vez que sua reprodução fora das unidades de cultivo é limitada, caracterizando-a como uma espécie não invasora. Assim, a legalização dessa atividade poderia fomentar o desenvolvimento socioeconômico das comunidades marinhas da região, especialmente por meio da produção de carragenana e seus derivados.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as potencialidades e os aspectos legais da introdução e do cultivo de *Kappaphycus alvarezii*, além de realizar um monitoramento ambiental dessa alga em Pitimbu, Paraíba. Os objetivos específicos incluem:

a) Revisar o marco legal referente à introdução e cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no Brasil, explorando a legislação vigente e os potenciais impactos socioambientais dessa prática;

b) Avaliar a ocorrência natural desta macroalga na área de cultivo em Pitimbu - PB, fornecendo dados que possam subsidiar políticas públicas e regulamentações voltadas para uma maricultura sustentável.

Esta dissertação está estruturada em dois capítulos, ambos no formato de artigos científicos, conforme os objetivos específicos estabelecidos.

O Capítulo 1 apresenta uma revisão sobre a legislação brasileira relacionada à introdução dessa espécie e os mecanismos de licenciamento ambiental para o cultivo de macroalgas.

O Capítulo 2 aborda o monitoramento da introdução e a possível ocorrência natural de *Kappaphycus alvarezii* na área de cultivo irregular no município de Pitimbu, PB. A organização dos capítulos segue as diretrizes da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), garantindo conformidade com os padrões acadêmicos. Os artigos resultantes poderão ser submetidos a periódicos científicos, adequando-se às exigências editoriais de cada publicação.

CAPÍTULO 1: Marco Legal e Sustentabilidade: A introdução da Macroalga *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996 no Brasil e o pontencial Socioambiental.

Vanessa Simões do Nascimento¹, George Emmanuel Cavalcanti de Miranda²

¹ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900). E-mail: vanessa.simoes.084@ufrn.edu.br

²Departamento de Sistemática e Ecologia. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900). E-mail: mirandag@dse.ufpb.br

RESUMO

Este estudo analisa a introdução de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996, no Nordeste do Brasil, abordando os mecanismos legais e socioambientais necessários para justificar e permitir a introdução experimental ou comercial da macroalga na região. A pesquisa foca na compatibilidade entre o desenvolvimento social e a proteção ambiental em áreas costeiras. A metodologia envolveu uma revisão de literatura sobre o marco legal e as práticas sustentáveis no cultivo de algas. Os resultados detalham a linha do tempo da introdução de *Kappaphycus alvarezii* no Brasil, bem como toda a legislação aplicável e regulamentações ambientais para a regularização da introdução e cultivo no país. O estudo também destaca o baixo risco ambiental e a ausência de problemas relacionados à bioinvasão por essa espécie. O objetivo é subsidiar políticas públicas que equilibrem a inclusão social e a preservação ambiental no setor da maricultura, promovendo o uso sustentável da espécie na costa do Nordeste do Brasil.

Palavras-Chave: Regulação Ambiental; Introdução de espécies; Cultivo de algas; Aquicultura; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study analyzes the introduction of *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996 in Northeast Brazil, addressing the legal and socio-environmental mechanisms necessary to justify and permit the experimental or commercial introduction of the macroalgae in the region. The research focuses on the compatibility between social development and environmental protection in coastal areas. The methodology involved a literature review on the legal framework and sustainable practices in seaweed cultivation. The results detail the timeline of the introduction of *Kappaphycus alvarezii* in Brazil, as well as all the applicable legislation and environmental regulations for the regularization of the introduction and cultivation in the country. It also highlights the low environmental risk and absence of problems with bioinvasion by this species. The study aims to support public policies that balance social inclusion and environmental preservation in the mariculture sector, promoting the sustainable use of the species on the coast of Northeast Brazil.

Keywords: Environmental Regulation; Species Introduction; Seaweed Cultivation; Aquaculture; Sustainability.

INTRODUÇÃO

A macroalga *Kappaphycus alvarezii*, L.M.Liao 1996, nativa do Indo-Pacífico, tem despertado interesse em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil, devido ao seu potencial econômico, especialmente pela produção de carragenana, amplamente utilizada como espessante nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Entretanto, a introdução de espécies *K. alvarezii* exige um marco legal que garanta a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento seguro do cultivo. Maxwell L. Doty, na década de 1960, selecionou uma linhagem específica da alga, projetada para fins comerciais e caracterizada por um crescimento exclusivamente vegetativo, o que reduz o risco de bioinvasão e a torna especialmente adequada para o cultivo controlado (Doty, 1973; Doty & Alvarez, 1973).

No Brasil, o cultivo experimental de *Kappaphycus alvarezii* iniciou-se nos anos 1990, no estado de São Paulo, com o objetivo de avaliar sua viabilidade econômica e os possíveis impactos ecológicos (Paula et al., 1999). Em 1998, o cultivo comercial foi iniciado na Baía da Ilha Grande e em 2003 na Baía de Sepetiba, ambos no estado do Rio de Janeiro, expandindo-se posteriormente para o Nordeste e Santa Catarina, onde as condições climáticas são favoráveis associada a demanda de mercado crescente (Reis et al., 2007; Lucena et al., 2007; Castelar, Reis e Bastos 2009, Hayashi et al., 2011; Faria, Hayashi e Monteiro 2014). Contudo, a ausência de regulamentação específica, especialmente em regiões como o Nordeste, tem limitado a maximização dos benefícios socioeconômicos e ambientais que o cultivo sustentável dessa alga pode proporcionar, uma vez que nesta região está proibido pela Instrução Normativa nº 185/2008 do Ibama que delimita as áreas excluindo o Nordeste.

A linhagem de *K. alvarezii* cultivada no Brasil, caracterizada por seu crescimento exclusivamente vegetativa, apresenta baixo risco de bioinvasão, o que é corroborado por investigações como as de Hayashi (2007) e Barros-Barreto et al. (2012). Esses estudos demonstram que a macroalga não apresenta comportamento invasivo em condições de cultivo controlado, o que sugere viabilidade para uma maricultura sustentável, desde que acompanhada por diretrizes legais adequadas e políticas de monitoramento ambiental.

Diante desse cenário, este estudo revisa o marco legal e as implicações socioambientais da introdução de *Kappaphycus alvarezii* no Brasil, com foco nas lacunas e potenciais benefícios que regulamentações específicas poderiam oferecer.

A análise da literatura sobre os desafios e oportunidades associados ao cultivo dessa alga busca fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas que garantam tanto a segurança ambiental quanto o crescimento econômico sustentável do setor de maricultura no país.

MATERIAS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio de revisão bibliográfica. As fontes de dados incluíram livros, processos públicos, artigos científicos e documentos técnicos, consultados nas plataformas PubMed, Periódico Capes, Connected Papers e Google Acadêmico. As buscas foram realizadas utilizando palavras-chave como "*Kappaphycus alvarezii*", "cultivo de algas", "legislação", "algae for sustainability" e "algae as a source of nutrients". A seleção das fontes considerou a relevância e a credibilidade das publicações. Os critérios de inclusão consideraram estudos que abordam o licenciamento ambiental para o cultivo de macroalgas no Brasil, com foco em monitoramento, controle e sustentabilidade.

A coleta de dados foi sistemática e descritiva, destacando os principais achados de cada estudo e organizando-os em uma matriz comparativa para uma análise qualitativa detalhada. A revisão crítica dos dados buscou identificar lacunas na literatura e sintetizar o conhecimento disponível, fornecendo uma base sólida para futuras pesquisas e formulação de políticas voltadas ao manejo sustentável de *Kappaphycus alvarezii*.

CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE

***Kappaphycus alvarezii* e legislação para a sua introdução no Brasil.**

A introdução da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nas águas costeiras do Brasil remonta a 1995, inicialmente conduzida de forma experimental pela Universidade de São Paulo (USP) com o objetivo de avaliar o potencial de cultivo e os riscos ambientais envolvidos (Paula e Pereira, 1998; Reis et al., 2007; Oliveira, 2019; Gelli, Valeria Cress et al., 2020; Araújo et al., 2020; Gelli et al., *Bol. Inst. Pesca*, 2020). Entretanto, nessa primeira iniciativa o autor não obteve licença específica, pois a legislação vigente à época não previa a regulamentação deste tipo de atividade, visto que o Código Florestal datava de 1965 (Lei nº 4.771/1965) e a Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981, que regula condições para o desenvolvimento socioeconômico sustentável (Ibfl Florestas, 2023; Jusbrasil, 2023), não contemplavam critérios específicos para a introdução de macroalgas exóticas.

Dois anos depois, em 1997, o mesmo projeto de estudo da USP recebeu apoio formal do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e foi autorizado pelo IBAMA, após análise e cumprimento de uma série de exigências (Processo IBAMA 037/97 GABS/SUPES/SP) (Paula EJ, Pereira RTL, Ostini S, 1998). Essa autorização é o início de um programa piloto de introdução dessas espécies e tal processo é citado no trabalho de (Paula & Pereira, 1998). A iniciativa teve como ponto de partida a região de Ubatuba, no estado de São Paulo. Contudo, mesmo com essa concessão de licença, ainda não havia regulamentações específicas sobre a introdução de espécies exóticas de algas marinhas, evidenciando uma lacuna legal que posteriormente influenciaria ajustes na legislação ambiental brasileira.

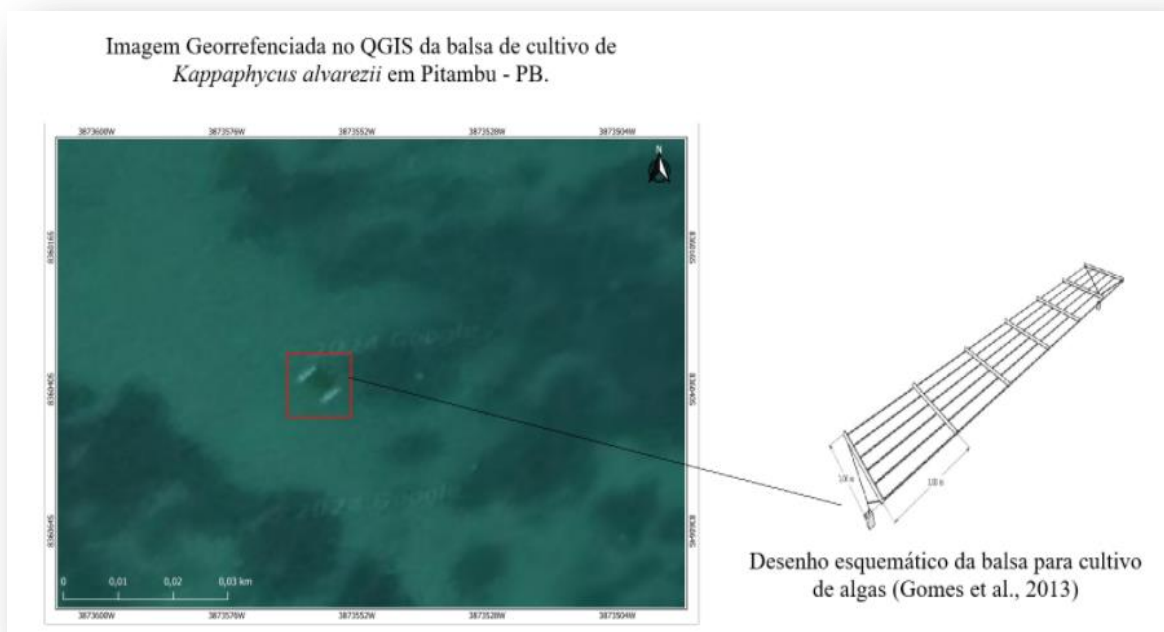
A expansão do cultivo para a Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro, em 2003, consolidou a região Sudeste como um importante centro de produção de *K. alvarezii* (Castelar et al., 2009; Reis et al., 2007).

No Nordeste, o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* foi registrado de forma não regulamentada em 2005, na região de Pitimbu-PB, quando uma família de algicultores iniciou a atividade como meio de subsistência. Estudos realizados em Pitimbu (Lucena et al., 2007; Araújo, 2013) sugerem que não houve propagação invasiva da alga fora das áreas cultivadas.

Ainda em 2005, após denúncia e procedimento de vistoria realizados pelo IBAMA, foi definida a retirada dos cultivos no mar (IBAMA processo: 02001004993/2005-95), o que na prática não aconteceu. Estudos realizados posteriormente em Pitimbu-PB demonstraram que as linhagens cultivadas, pertencem ao um clado que não apresentavam comportamento invasivo (Araújo, 2013).

A balsa de cultivo implantada no município paraibano, foi georreferenciada no QGIS nas coordenadas 7°30'12" S, 34°47'43" W. A Figura 1 com imagem obtida do Google Earth mostra a balça de cultivo. A imagem à direita é um desenho ilustrativo de como é o formato da balsa no mar.

Figura 1: Imagem da balsa de cultivo de *Kappaphycus alvarezii* em Pitimbu- PB.



Fonte: QGIS (autoria própria)

Em resposta às crescentes iniciativas de cultivo e aos desafios regulatórios, o IBAMA emitiu a Instrução Normativa nº 165 em 2007, a qual definiu diretrizes para o manejo de espécies exóticas em águas brasileiras, que instituiu a proibição de novas introduções e as restringiu exclusivamente às entidades que haviam apresentado pedidos de concessão de uso do mar para cultivo de *K. alvarezii* até a data mencionada (Sepúlveda, 2002; Hayashi et al., 2007).

Em 2008, com base nos dados de monitoramento ambiental que não indicavam proliferação invasiva da espécie, o IBAMA emitiu a Instrução Normativa nº 185, autorizando o cultivo de *K. alvarezii* entre a Baía de Sepetiba (RJ) e Ilha Bela (SP) sob critérios de controle ambiental para assegurar a sustentabilidade (IBAMA, 2008; Ghilardi et al., 2008; Castelar et al., 2009). Este marco representa um ponto de virada, pois estabeleceu os primeiros requisitos regulatórios específicos para o cultivo dessa espécie em uma área geograficamente limitada.

Também em 2008, a introdução desta espécie se expandiu para o Estado de Santa Catarina, o qual ocorreu inicialmente de forma experimental, conforme apontado por diversos estudos que identificam esse ano como o início do cultivo na região (Araújo, 2013; Santos, 2014; Neves et al., 2014). Atualmente este Estado é um dos maiores produtores comerciais desta espécie no país.

No ano de 2018, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a Instrução Normativa nº 50, que classificou *Kappaphycus alvarezii* como uma espécie não formadora de populações espontâneas. Esse reconhecimento foi baseado em estudos que demonstraram que as linhagens de *K. alvarezii* cultivadas no Brasil não apresentam capacidade de esporulação, propagando-se exclusivamente por meios vegetativos. (Araújo, 2013 e Barros-Barreto et al. 2013) reforçando a segurança ambiental do cultivo controlado.

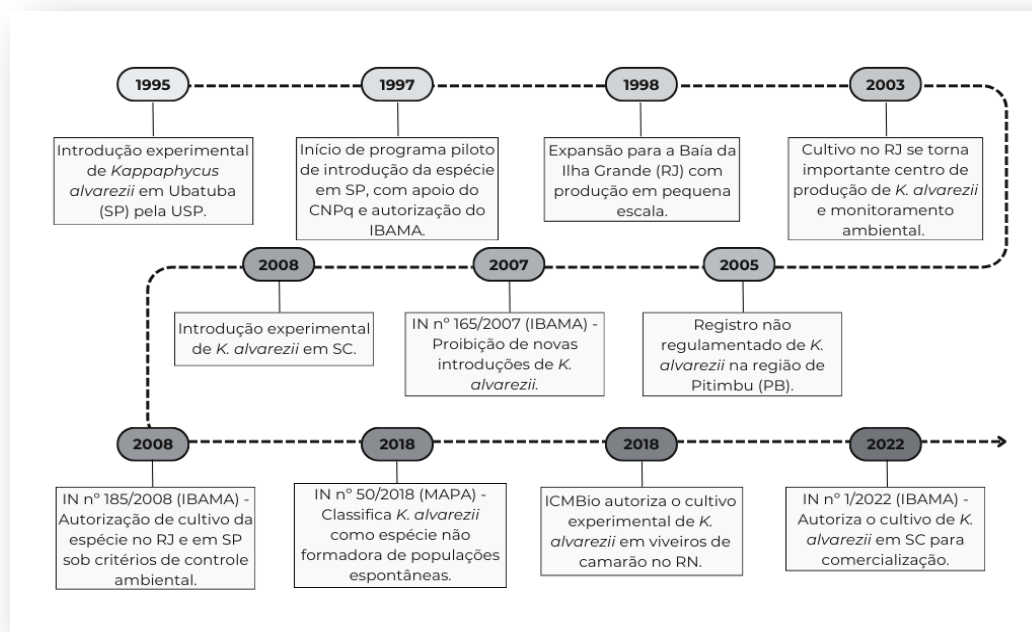
Essa característica é fundamental, pois indica que a espécie não tem a capacidade de estabelecer populações fora das áreas de cultivo, mesmo em condições favoráveis. Esse aspecto elimina o risco de invasão ecológica por dispersão natural e reforça a segurança ambiental do cultivo controlado. A normativa consolidou oficialmente essa avaliação, respaldando o cultivo nas áreas já regulamentadas e sobre monitoramento ambiental contínuo (MAPA, 2018).

Com finalidade científica, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) concedeu a autorização (nr 63.250/R) para o cultivo experimental de *K. alvarezii* em um projeto integrado com viveiros de camarão na Fazenda Camares Camarões Ltda no Rio Grande do Norte, ainda em 2018 (Costa, 2024).

Mais recentemente a Instrução Normativa do IBAMA nº 1/2020, formalizou o cultivo de *K. alvarezii* em Santa Catarina, estabeleceu critérios de sustentabilidade e controle, refletindo a necessidade de regulamentação específica para garantir o desenvolvimento ambientalmente seguro dessa atividade (MAPA, 2020).

A Figura 2, a seguir, apresenta uma linha do tempo com os principais eventos relacionados à introdução da espécie e ao processo de regulamentação do seu cultivo no Brasil.

Figura 2: Linha do tempo do marco histórico sobre a introdução e a legislação da *Kappaphycus alvarezii* no Brasil



Fonte: autoria própria

A análise da *Time Line* revela que o cultivo de *Kappaphycus* no Brasil percorreu um processo regulamentar gradual desde sua introdução em 1995, passando por etapas cruciais de autorização e controle estabelecidas pelo IBAMA. Cada fase normativa visou conciliar o potencial econômico do cultivo com a preservação ambiental, inicialmente por meio de um programa piloto em São Paulo e, posteriormente, por meio de instruções normativas que definiram regiões para o cultivo controlado da espécie (Brasil, 2007; IBAMA, 2008; MAPA, 2018; 2020).

Este processo culminou na Instrução Normativa nº 1, de 2020, que ampliou o escopo da regulamentação para o estado de Santa Catarina, estabelecendo critérios de sustentabilidade para a atividade. De forma concomitante, o Decreto nº 10.576 de 2020 fortaleceu o arcabouço jurídico para o desenvolvimento da aquicultura sustentável no país, e recentemente sob a ótica do Decreto nº 11.626/2023, que institui o Programa Povos da pesca Artesanal, essa regulamentação fortalece o arcabouço jurídico da aquicultura sustentável, promovendo inclusão social, geração de renda e participação de comunidades costeiras em atividades de cultivo e manejo de algas. (Brasil, 2020).

Os Decretos fornecem suporte institucional para revisar regulamentações vigentes e explorar o potencial socioeconômico e ambiental de novas áreas, como a região Nordeste. Dessa forma, a convergência entre as evidências científicas, as instruções normativas e os Decretos estabelece uma estrutura sólida para a expansão do cultivo de *K. alvarezii* em diferentes regiões do Brasil, priorizando o desenvolvimento sustentável e a conservação ambiental como pilares fundamentais da política nacional de aquicultura (Brasil, 2020).

CONCLUSÃO

Ao analisar a linha do tempo da introdução de *Kappaphycus alvarezii* no Brasil e sua regulamentação, observa-se que ambas não evoluíram simultaneamente. A macroalga foi introduzida antes da existência de normativas específicas, resultando em um processo regulatório reativo. Mesmo após anos de estudos científicos comprovando que a espécie não apresenta risco invasivo, a ausência de normatização persiste em algumas regiões, como o Nordeste, limitando o desenvolvimento sustentável da atividade.

A falta de regulamentação adequada impede que comunidades costeiras dessa região usufruam dos benefícios socioeconômicos proporcionados pelo cultivo da macroalga. A criação de normativas atualizadas, baseadas em evidências científicas, é essencial para alinhar a legislação às práticas aquícolas seguras e sustentáveis. O avanço das políticas públicas deve considerar não apenas a preservação ambiental, mas também o potencial econômico da maricultura, garantindo o equilíbrio entre conservação e desenvolvimento.

A harmonização entre conhecimento científico e formulação de políticas regulatórias é imprescindível para que o Brasil amplie sua economia de maneira responsável. Assim, é fundamental que a regulamentação acompanhe o avanço das pesquisas, permitindo a expansão controlada do cultivo de *Kappaphycus alvarezii* e promovendo um setor aquícola mais estruturado e inclusivo.

CAPÍTULO 2: Monitoriamento ambiental de *Kappaphycus alvarezii* L.M.Liao 1996. Um estudo de caso no município de Pitimbu – PB.

Vanessa Simões do Nascimento¹, George Emmanuel Cavalcanti de Miranda²

¹ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900). E-mail: vanessa.simo.es.084@ufrn.edu.br

²Departamento de Sistemática e Ecologia. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900). E-mail: mirandag@dse.ufpb.br

RESUMO

O cultivo de algas marinhas, especialmente de macroalgas vermelhas, tem experimentado um crescimento significativo nas últimas décadas, tornando-se uma importante fonte de matéria-prima para vários seguimentos comerciais. O monitoramento para avaliar a ocorrência natural da macroalga *Kappaphycus alvarezii*, nas proximidades de onde se tem informações na literatura sobre a existência do cultivo, é de extrema relevância para saber se existe pontencial de invasão para esta espécie. Nosso objetivo foi compreender se há efeito do cultivo sobre a cobertura recifal das áreas adjacentes a esta atividade e se a espécie é capaz de colonizar o substrato de forma autônoma. Foram analisadas três áreas amostrais, uma com cultivo pretérito de *K. Alvarezii* e duas áreas controle de um mesmo complexo recifal. Os dados foram obtidos por meio de foto quadrado, com análise posterior no sistema CoralNet, e o inventário de espécie foi completando por meio de coleta manual. As análises visaram comparar a cobertura total de macroalgas entre as três áreas amostrais, bem como comparar a diversidade de macroalgas pelo índice de SHANNON. Nos resultados obtidos não foram identificados talos da macroalga *K. Alvarezii* fixados ou aderidos aos substratos naturais, bem como não foram observadas estruturas reprodutivas da espécie. Essas informações sugerem que o potencial de invasão dessa espécie é baixo e o cultivo pode ser explorado como uma alternativa sustentável e

economicamente viável, desde que sejam seguidas as práticas de manejo adequadas. Para tanto é necessário que haja uma revisão na legislação que atualmente proíbe o cultivo desta alga no Nordeste.

PALAVRAS - CHAVE: Bioinvasão; Ecossistema Costeiro; Aquicultura Sustentável.

ABSTRACT

The cultivation of seaweed, particularly red macroalgae, has experienced significant growth in recent decades, becoming an important source of raw material for various commercial sectors. Monitoring to assess the natural occurrence of the macroalga *Kappaphycus alvarezii* near areas documented in the literature as cultivation sites is highly relevant to determine the potential for invasion by this species. Our objective was to understand whether cultivation affects the reef coverage in areas adjacent to this activity and whether the species is capable of autonomously colonizing the substrate. Three sampling areas were analyzed: one with previous *K. alvarezii* cultivation and two control areas within the same reef complex. Data were obtained through photo quadrats, subsequently analyzed using the CoralNet system, and the species inventory was supplemented by manual collection. The analyses aimed to compare the total macroalgae coverage among the three sampling areas and assess macroalgae diversity using the SHANNON index. The results showed no evidence of *K. alvarezii* thalli fixed or attached to natural substrates, nor were reproductive structures of the species observed. These findings suggest that the invasion potential of this species is low and that its cultivation could be explored as a sustainable and economically viable alternative, provided proper management practices are followed. However, a revision of the legislation currently prohibiting the cultivation of this alga in the Northeast is necessary.

KEYWORDS: Bioinvasion; Coastal Ecosystem; Sustainable Aquaculture.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda industrial por carragenana, um hidrocolóide amplamente utilizado em diversas aplicações, impulsionou a introdução de *Kappaphycus alvarezii* no Brasil na década de 1990. Inicialmente, os cultivos foram realizados em Ubatuba, São Paulo, com o objetivo de atender a essa demanda e reduzir a exploração de espécies nativas (Paula et al., 2002). Posteriormente, o cultivo se expandiu para outras regiões do país, como Rio de Janeiro e Santa Catarina (Hayashi et al., 2011), e chegou ao litoral da Paraíba, no município de Pitimbu, em 2005.

O município de Pitimbu (PB) é conhecido por sua rica biodiversidade e beleza natural (Prefeitura Municipal de Pitimbu, 2023). Nesse local, o cultivo de *K. alvarezii* foi implementado de forma artesanal por pescadores locais, sem regulamentação ou monitoramento ambiental adequados (Araújo, 2013; Lucena et al., 2007). Essa ausência de controle gerou preocupações sobre possíveis impactos ecológicos, como a dispersão por propagação vegetativa e o risco de fixação em substratos rígidos, como recifes de coral e costões rochosos, que são hotspots de biodiversidade marinha (Zemke-White & Smith, 2006).

Com base no estudo de Araújo et al. (2013), que utilizou análises moleculares para identificar as linhagens de *Kappaphycus alvarezii* cultivadas no Brasil, foi possível diferenciar entre linhagens invasoras e não invasoras. As linhagens cultivadas no Brasil, como "Brasil-IBT 708", "Brasil-IBT 713" e "Brasil-IBT 729", foram classificadas como não invasoras, pois apresentam baixa capacidade de reprodução autônoma no ambiente marinho, limitando-se ao cultivo vegetativo e à ausência de esporos viáveis. Essas características reduzem significativamente o risco de bioinvasão e diferenciam as linhagens cultivadas no Brasil de outras conhecidas por seu comportamento invasivo (Araújo et al. 2013).

Na Índia, a introdução de *Kappaphycus alvarezii* na década de 1990 na Reserva da Biosfera do Golfo de Mannar resultou na fuga da alga para áreas naturais, causando impactos negativos severos nos recifes de coral. A proliferação descontrolada comprometeu a biodiversidade marinha local, evidenciando o potencial invasivo de determinadas linhagens dessa espécie (Kamalakaran et al., 2014).

Esse exemplo indiano ressalta a importância de ações preventivas e regulatórias para evitar cenários semelhantes em outros locais. No Brasil, embora as linhagens cultivadas mostrem baixo potencial invasivo, estudos contínuos e monitoramento ambiental são fundamentais para assegurar que o cultivo seja sustentável e não cause impactos nos

ecossistemas locais.

Desde 2005, o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* é mantido no litoral do município de Pitimbu (PB), sendo a principal fonte de subsistência para uma família de algicultores da região. A existência desse cultivo foi registrada apartir de denúncia que consta no relatório técnico da visita realizada pelo IBAMA em 20 de junho de 2006, conforme descrito na página 257 do processo IBAMA nº 02001004993/2005-95. Além disso, da presença da alga arribadas às praias do município é mencionada em publicações científicas, como Lucena et al. (2007) e Araújo (2013), destacando-se como uma atividade de cultivo presente na região por período superior a 19 anos.

Diante desse cenário, e considerando o histórico de cultivo irregular, este estudo tem como objetivo verificar, após aproximadamente 20 anos da introdução de *K. alvarezii* em Pitimbu, se a espécie apresenta ocorrência e dispersão autônoma no ambiente, investigando sua propagação nas áreas próximas ao local de cultivo e os possíveis impactos sobre os ecossistemas marinhos locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Pitimbu (Figura 3), no extremo sul da costa da Paraíba, Brasil, aproximadamente 60 km de João Pessoa. A área de cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* está localizada próximo às coordenadas 7°30'10.15''S e 34°47'45.25''O foi identificada a partir de imagens do Google Earth (Figura. 4) e dados contidos no processo IBAMA citado anteriormente.

Figura 3: Mapa de localização do município de Pitimbu no Estado da Paraíba

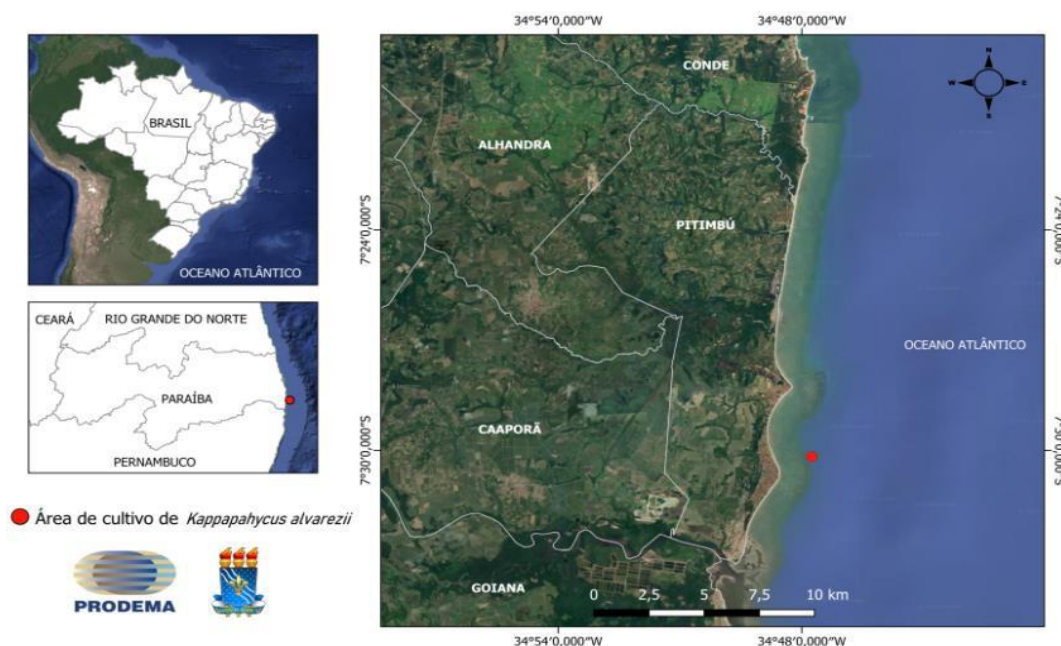
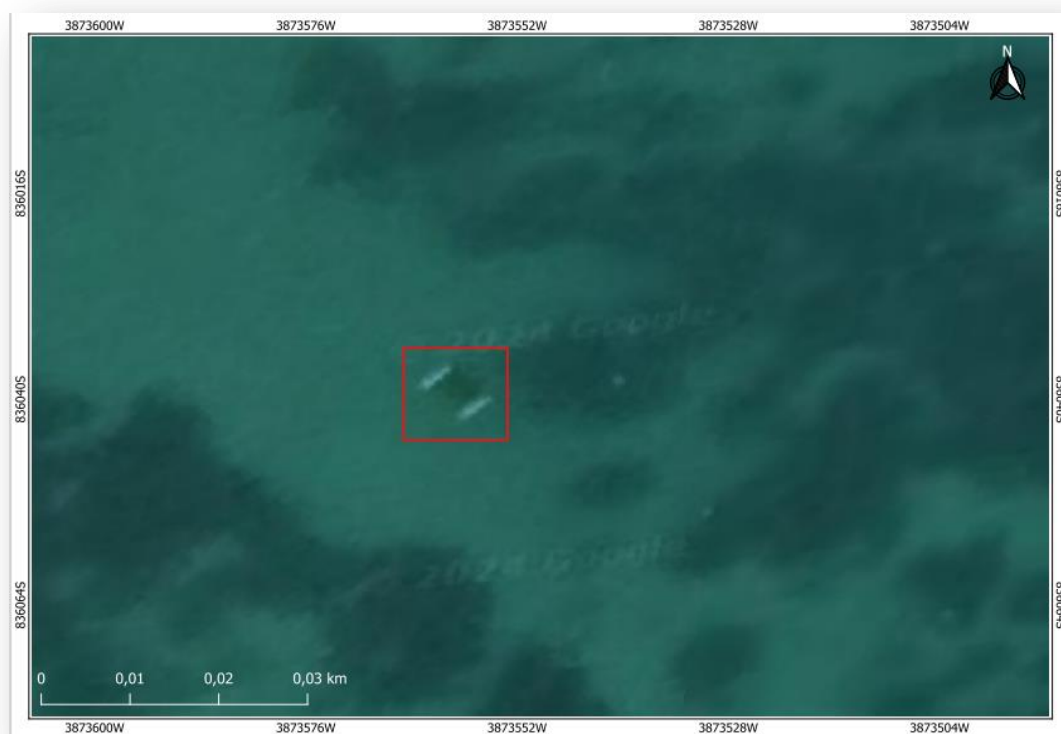


Figura 4: Balsa de cultivo georeferenciada no QGIS.



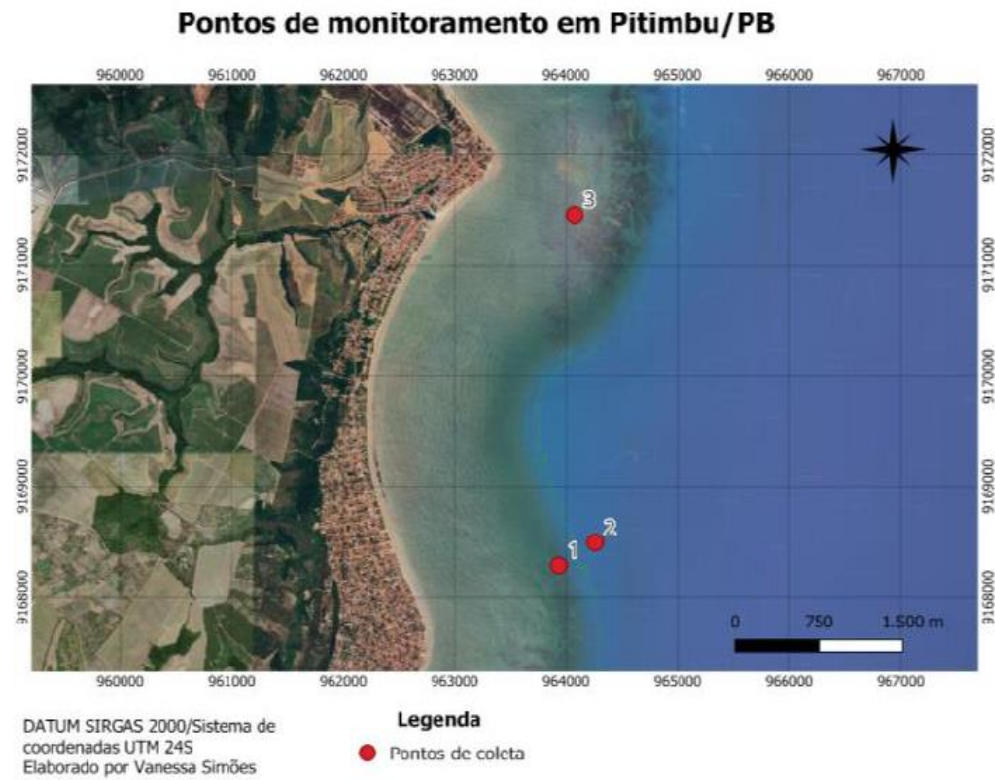
Fonte: autoria própria

A região possui clima úmido (classificação Aw' pelo sistema de Köppen- Geiger), com temperaturas da água entre 26°C e 29°C ao longo do ano (Coutinho, 2017; Mencia et al, 2021) e precipitação anual de aproximadamente 1.800 mm, concentrada entre abril e julho (Lima e Ferreira, 2021). Essa combinação climática favorece o desenvolvimento da flora bentônica marinha, e a presença de recifes de corais e algas diversas torna Pitimbu um local estratégico para estudos de biodiversidade e algicultura sustentável (De Lucena, 2007).

A amostragem foi conduzida em março de 2024 por meio de mergulho livre para monitoramento da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nos substratos rochosos da região do em torno da área de cultivo, incluindo recifes de corais e nódulos de algas calcárias.

As coordenadas das áreas amostrais foram definidas com base no relatório de visita técnica do IBAMA que consta no processo do IBAMA 02001004993/2005-95 e nos trabalhos de Lucena et al. (2007) e Araújo (2013), que permitiu a seleção de 3 pontos amostrais (figura 5), complementadas por imagens de satélite do Google Earth, que mostram as balsas de cultivo e auxiliaram na delimitação dos limites norte e sul das áreas de estudo. As coordenadas geográficas específicas foram obtidas por meio de GPS e do aplicativo Wikiloc durante uma visita prévia ao local de cultivo.

Figura 5: Posição das áreas amostrais de monitoramento que foram observados.



Fonte: autoria própria

As coordenadas das áreas amostrais, datas, horários e detalhes do monitoramento, bem como a quantidade de amostra capturada em cada ponto, estão descritas na (Tabela 1).

Tabela 1: Indicações de coordenadas geográficas e detalhes sobre o tipo de monitoramento realizado em cada ponto de observação.

Áreas amostrais	Coordenadas	Data /Hora	Local	Modalidade de monitoramento	n
Área amostral 1	7,50420° S, 34,79860° O	11.03.2024 09:35	Praia de Pitimbu, PB	Coleta manual e amostragem por fotoquadro.	30
Área amostral 2 - Cultivo	7,50230° S, 34,79570° O	11.03.2024 10:24	Praia de Pitimbu, PB	Coleta manual e amostragem por fotoquadro	30
Área amostral 3	7,47560° S, 34,79760° O	11.03.2024 11:13	Praia de Pitimbu, PB	Coleta manual e amostragem por fotoquadro	30

Para cada área amostral, 30 imagens foram capturadas utilizando o método não destrutivo de foto quadrado, com um enquadramento de 40 cm de cada lado. As imagens foram registradas com uma câmera digital subaquática, acoplada a uma estrutura de PVC, que serviu como suporte para delimitar o quadrado de amostragem, garantindo imagens consistentes e padronizadas (Figura 6).

Figura 6: Estrutura de PVC para fixar câmera digital em caixa estanque.



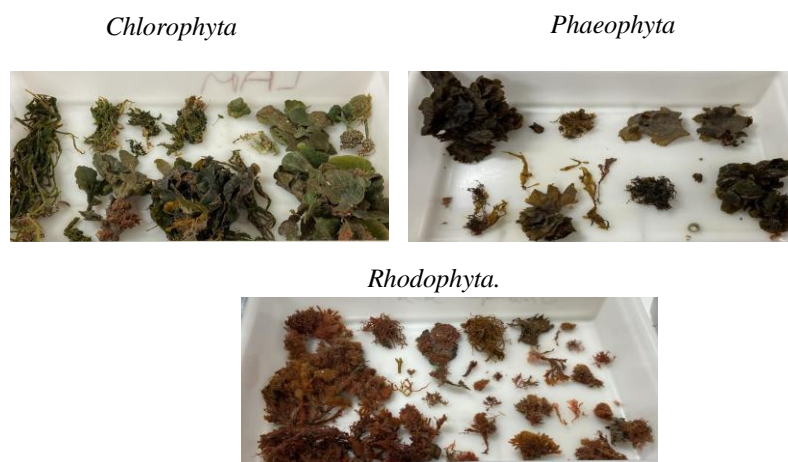
Fonte: autoria própria

Os mergulhos ocorreram durante a maré de 0,0 e 0,2 com variações de profundidade em torno de 1 metro, nestes mergulhos foram realizadas amostragens denominadas de “busca ativa” pela macroalga *Kappaphycus alvarezii* em cada estação de coleta denominada de área amostral. Essa metodologia constituiu em aproximadamente 30 minutos de mergulhos em cada local, circulando cada estação amostral com o objetivo de localizar indivíduos fixados no sistema recifal ou à deriva, um círculo com raio de aproximadamente 150 metros em cada área amostral foi inspecionado.

Além das observações e imagens realizadas durante a pesquisa, a coleta de macroalgas em cada área amostral foi conduzida de acordo com os requisitos legais estabelecidos. As atividades de coleta foram autorizadas pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SisBio), sob a licença nº 89458-1, emitida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Esta autorização, válida até dezembro de 2024, permitiu a coleta e o transporte das amostras exclusivamente para fins científicos, em conformidade com as diretrizes previstas na Portaria ICMBio nº 748/2022.

Após a coleta, o material foi transportado para o Laboratório de Ficologia: Cultivo de Macroalgas (LAFIC) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). No laboratório, as amostras foram organizadas e classificadas por grupos taxonômicos (Figura 7).

Figura 7: Exemplos das algas encontradas nas áreas de coletas, separadas por cores.



Fonte: autoria própria

Para complementar esses resultados e compreender melhor a composição da comunidade de macroalgas no local, foi realizada uma análise detalhada das amostragens obtidas nos pontos de monitoramento.

Posteriormente, as imagens subaquáticas capturadas durante os mergulhos foram utilizadas para análise no sistema CoralNet (coralnet.ucsd.edu/source/), uma ferramenta que permitiu a quantificação da cobertura algal. Cada área amostral foi representada por 30 imagens, posicionadas aleatoriamente, que foram analisadas para classificar a porcentagem de cobertura total de macroalgas encontradas.

A cobertura do substrato foi estimada através da análise de nuvem de pontos, geradas automaticamente de forma aleatória pelo algoritmo do Coralnet. Dessa forma, foi possível indicar o grupo biológico ou elemento não-biológico presente sobre o ponto gerado na imagem. O total de pontos para cada imagem foi de 30, permitindo gerar uma estimativa média de cobertura por espécie de alga para cada área amostral, através desta técnica derivada do método apresentado por Kohler & Gill (2006). O sistema CoralNet foi previamente treinado com imagens das espécies identificadas no laboratório, o que garante maior precisão na classificação. Essa abordagem foi adaptada com base no estudo de Ghilardi et al. (2008) e permitiu registrar quantitativamente a ocorrência/ausência de algas fixas ao substrato.

Foi realizada uma comparação entre as unidades amostrais através da análises de variância (ANOVA), utilizando o software R, verificando diferenças na cobertura total de macroalgas entre as 3 áreas amostrais. Foi produzido um boxplot para melhor visualização dos dados. Para esta análise, a cobertura de macroalgas foi obtida através dos percentuais de

cobertura individuais de cada imagem (repetição), para cada local amostral (réplica verdadeira).

O estudo também detalhou o percentual de cobertura das macroalgas observadas separadamente, possibilitando a identificação dos grupos ou espécies mais representativos em cada local avaliado. O cálculo dos percentuais foi baseado na média das observações ($n=30$) realizados em cada área amostral, garantindo uma análise consistente e representativa.

Para a avaliação da estrutura da comunidade de macroalga, foram aplicados diferentes estimadores amplamente utilizados em estudos de biodiversidade, permitindo uma caracterização mais robusta e abrangente conforme (HOLT, et al., 2013; COLWELL, et al., 2012).

Os métodos empregados foram:

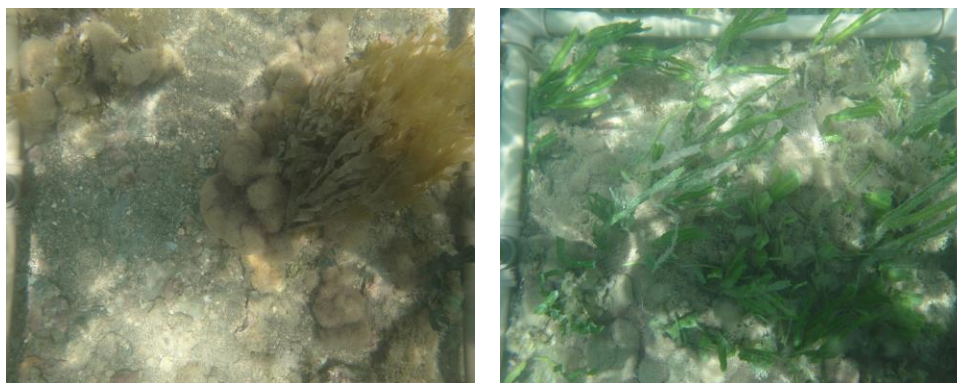
Bootstrap: Baseado em sobre amostras aleatórias, este estimador calcula a riqueza de espécies considerando a probabilidade de ocorrência em diferentes combinações de amostras; e **Sobs (espécie observada):** Representa o número total de espécies observadas diretamente nas amostras, sem ajustes adicionais, servindo como um parâmetro comparativo para os estimadores projetados.

A diversidade de Shannon é uma métrica amplamente utilizada para avaliar a diversidade de espécies, considerando tanto a riqueza quanto a equitabilidade da distribuição de espécies em uma comunidade. Portanto avaliamos a diversidade para as três áreas amostrais através deste método a fim de observar a complexidade ecológica das comunidades de macroalgas presentes nas áreas avaliadas (OMAYIO et al, 2019; ABOUGABAL, et al., 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os pontos de monitoramento analisados por meio de mergulhos autônomos, juntamente com a busca ativa realizada em cada área amostral, não identificaram a presença de *Kappaphycus alvarezii*. A espécie não foi encontrada fixada nem observada à deriva nos ambientes recifais ao redor das áreas estudadas. Além disso, a análise da amostra realizada nas três áreas amostrais, ($n=30 \times 3$), confirmou a ausência de *K. alvarezii* no recife avaliado (Figura 8).

Figuras 8: Imagem tirada com câmera fotográfica através de mergulho com auxílio da estrutura de PVC onde não se encontrou *Kappaphycus alvarezii* nos substratos



Fonte: autoria própria

Esse resultado, alinha-se à observação feita por Castelar et al. (2014) sobre o litoral sudeste, onde o cultivo de *Kappaphycus alvarezii*, realizado há mais de uma década, também não apresentou indícios de invasão. Assim, como o estudo Araújo (2013), que aborda capacidade limitada de dispersão de *K. Alvarezii*. Ambos os trabalhos e os resultados encontrados neste trabalho atual corroboram ideia de que o cultivo dessa alga apresenta um baixo risco ambiental.

A modelagem realizada dos estudos de Castelar et al. (2009), utilizada como base para restrições ao cultivo de *K. alvarezii* em algumas regiões (Instrução Normativa nº 1/2020), identificou áreas de risco de invasão ambiental no Brasil, classificando-as em alto, médio e baixo risco, de acordo com parâmetros como adequabilidade ambiental, presença de recifes de coral e herbivoria. Apesar disso, os estudos não consideraram características importantes da linhagem introduzida, como sua incapacidade reprodutiva, dependência de fragmentação vegetativa e o baixo potencial de estabelecimento em substratos rochosos, como os encontrados em Pitimbu no presente estudo. Esses fatores foram posteriormente abordados por Araújo (2013), que concluiu que o potencial invasor da espécie é baixo para o litoral da Paraíba, destacando a importância do monitoramento contínuo em áreas de cultivo.

Além disso, os dados sugerem que, embora Castelar (2009) tenha alertado para os riscos em áreas de alta vulnerabilidade, para o Nordeste brasileiro, a ausência de bioinvasão após 20 anos de cultivo, indica que as condições locais, combinadas às características da linhagem, mitigam significativamente o risco ambiental.

Araújo (2013) reforçou que fragmentos arribados de *K. alvarezii* apresentaram baixa sobrevivência em condições naturais e não evidenciaram estruturas reprodutivas nos substratos monitorados, corroborando o argumento de que o cultivo pode ser realizado de

forma segura, desde que acompanhado por medidas de controle.

A revisão da Instrução Normativa nº 185/2008 pelo IBAMA, substituída pela Instrução Normativa nº 50/2018 e pela Instrução Normativa nº 1/2020 refletem a necessidade de adaptar as regulamentações às evidências científicas mais recentes. Esta normativa estabelece critérios específicos para o cultivo de *K. alvarezii*, permitindo sua prática em áreas delimitadas do Sudeste e Sul do Brasil, mas mantendo a proibição em áreas de alto risco ambiental no Nordeste. No presente estudo, a impossibilidade de replicar integralmente a modelagem original de Castelar, devido à ausência de acesso a dados específicos, não impede a conclusão de que, sobre condições controladas e com monitoramento contínuo, o cultivo de *K. alvarezii* pode ser conduzido de maneira ambientalmente responsável, especialmente em regiões de baixo risco previamente delimitadas.

Os resultados das amostras coletadas durante mergulhos livres nas três áreas amostrais evidenciaram uma composição taxonômica diversificada nas comunidades algais. A distribuição das macroalgas mostrou um predomínio de espécies do grupo *Chlorophyta*, com 14 espécies identificadas, seguido por *Rhodophyta*, com 7 espécies, e *Phaeophyta*, com 5 espécies registradas:

MACROALGA

CHLOROPHYTA

Acetabularia crenulata (J.V. Lamouroux, 1816)

Bryopsis sp. (J.V.Lamouroux, 1809)

Caulerpa racemosa ((Forsskål) J. Agardh, 1873)

Caulerpa Prolifera ((Forsskål) J.V. Lamouroux, 1809)

Caulerpa sertularioides ((S. G. Gmelin) M. Howe, 190

Caulerpa crupressoides.Var. *lycopodium* f. *elegante* (Weber-van Bosse, 1898)

Caulerpa crupressoides.Var. *lycopodium* f. *elegante* (Weber-van Bosse, 1898)

Caulerpa crupressoides. Var. *lycopodium* f. *lycopodium* (C. Agardh, 1817)

Chaetomorpha C. aerea (Dillwyn) Kützinger, 1849)

Dictyosphaeria versluysii (Weber-van Bosse, 1913)

Halimeda (J.V. Lamouroux, 1812)

Penicillus capitatus (Lamouroux,1816)

Udotea Flabellum (Ellis&Solander,1786)

PHAEOPHYTA

Dictyopteris jamaicensis (W.R.Taylor, 1960)

Dictyota polypodioides J.V. (Lamouroux, 1809)

Dictyota cervicornis. (Kützinger, 1859)

Dictyota polypodioides. (J. V. Lamouroux) Børgesen, 1914)

Lobophora variegata (J.V.Lamouroux) Womersley ex E.C.Oliveira 1977)

Padina gymnospora. (Kützinger) Sonder, 1871)

RHODOPHYTA

Alsidium seaforthii (Turner) J.Agardh 1841)

Bryothamnion triquetrum (SGGmelin) M.

Howe,1915) *Gracilaria cornea* J. (Agardh 1852).

Gracilaria sp. (Greville, 1830)

Hypneia. J.V. (Lamourox, 1813)

Tricleocarpa cylindrica (J.Ellis & Solander) Huisman & Borowitzka, 1990)

Os outros exemplares, por serem muito pequenos e estarem cobertos de sedimento, não puderam ser identificados em nível de espécie ou gênero, as mesmas foram reunidas em um grupo chamado de *Rhodophyta* articuladas.

Os resultados em laboratório não identificaram a presença de *Kappaphycus alvarezii* em nenhuma das amostras analisadas, conforme avaliação amostral descrita anteriormente.

Os resultados obtidos na análise da comunidade de macroalga, estão apresentados no **Gráfico 1**, que ilustra a média da cobertura de macroalgas identificadas, incluindo espécies como *Caulerpa crupressoides*, *Caulerpa prolifera*, *Sargassum spp.*, *Lobophora variegata*, *Dictyota spp.*, bem como as algas calcárias articuladas (ACC) e encrustantes (ACE).

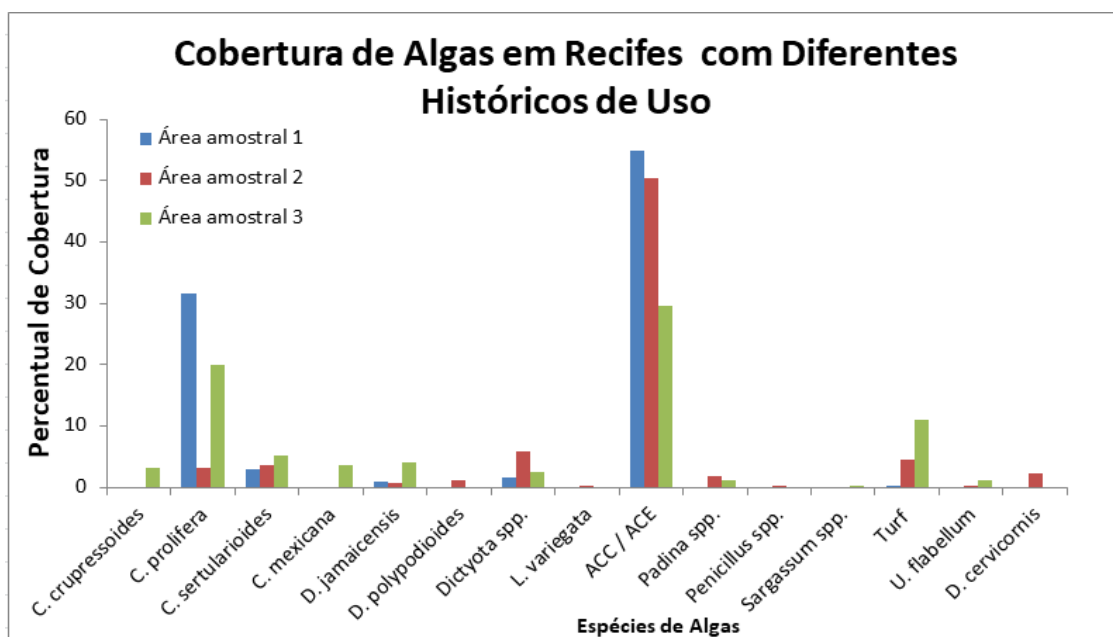
Observa-se que as algas calcárias articuladas (ACC) e as algas calcárias incrustantes (ACE) predominam, especialmente no Área amostral 1, sugerindo um papel essencial desses organismos na calcificação dos recifes. A alta presença dessas algas calcárias é um bom indicativo quando consideramos que se *K. alvarezii* tivesse alcançado uma condição de espécie invasora, teria-se um cenário diferente, com baixa cobertura de algas calcárias em detrimento de sua dominância no local, conforme estudos similares para algas invasoras (Kamalakaran et al., 2014) (Mandal et al., 2010). E a alta presença de areia e rochas no recife, levando a uma condição de menor cobertura de algas.

A área amostral 3 apesar de longe da área com cultivo de *K. alvarezii*, apresentou cobertura de alga calcárea menor que as outras 2 áreas e uma maior parcela de sedimentos não consolidados e rochas, tendo também maior presença de Turf quando comparado aos demais recifes.

Na área amostral 3 nota-se uma presença mais evidente de espécies do gênero *Caulerpa*, que devido sua forma de propagação toleram ambientes com substratos não consolidados como fundos arenosos.

As variações na cobertura de algas refletem a resposta dos recifes às condições ambientais, destacando a necessidade de estratégias de conservação adaptadas a cada recife para manter a saúde dos ecossistemas locais (Leite et al., 2018; Eloy, França et al., 2021).

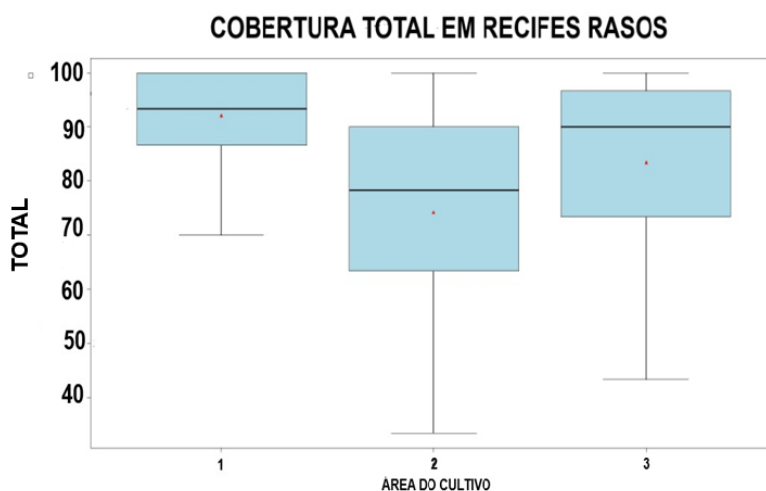
Gráfico 1: . Algas do gráfico identificadas no CoralNet



Fonte: autoria própria

Considerando apenas a cobertura total de algas, a ANOVA realizada entre as 3 áreas amostrais indicou diferença significativa de $P = 0.000112$. O teste a posteriori de Tukey demonstrou que as áreas amostrais 1 e 2 são diferentes, com o valor de $P = 0.0000625$. Enquanto que a 2 e 3 são similares entre si e o valor de $P = 0.0805$. O local 1 e 2 apesar de serem próximos, tem cobertura diferentes $P = 0.058$. Como mostra no (Gráfico 2).

Gráfico 2: Cobertura total dos três recifes rasos. Nas três áreas analisadas, evidenciando diferenças significativas entre os locais conforme a ANOVA e o teste de Tukey.

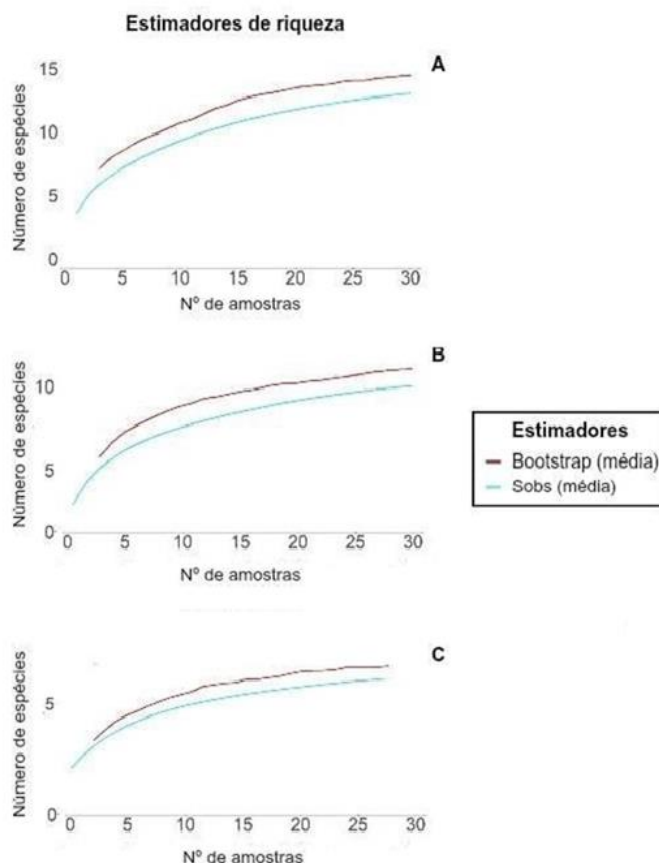


Fonte: autoria própria

A Riqueza demonstrada através das curvas (**Gráfico 3**) as três áreas A, B e C apresentou um aumento no número de espécies com o incremento do esforço amostral, seguido de uma estabilização, indicando a saturação da curva. A estabilização sugere que o número de espécies foi bem representado, com boa cobertura amostral em todas as áreas. O índice Bootstrap teve estimativas próximas ao número de espécies observadas (Sobs), reforçando a qualidade do esforço amostral.

Entre as áreas, observou-se que área **A** apresentou maior riqueza estimada, com mais espécies observadas e projetadas. As áreas **B e C** mostraram menor riqueza, mas com curvas semelhantes e saturação mais rápida, indicando menor heterogeneidade espacial. Os estimadores são consistentes e indicam que o esforço amostral foi suficiente para caracterizar a riqueza de espécies nas três áreas.

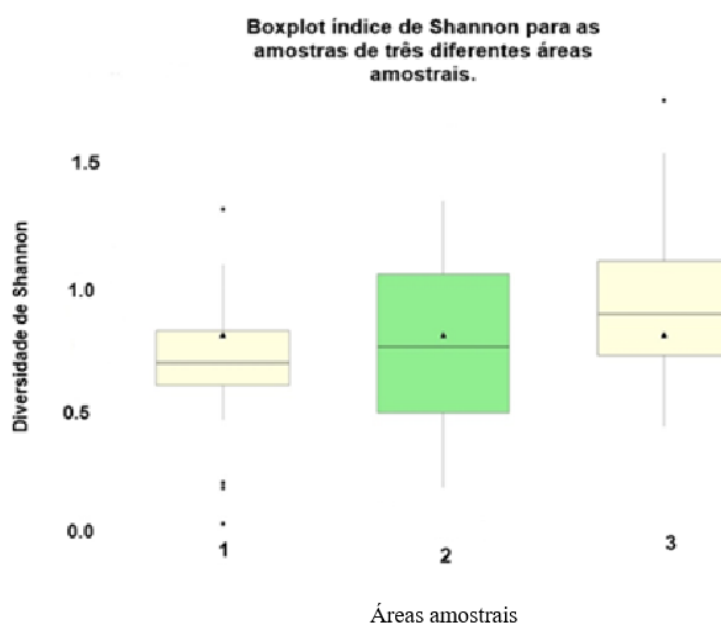
Gráfico 3: Estimadores de riqueza de macroalgas para três diferentes áreas amostrais em complexo recifal. Sobs: número real de espécies observadas. Bootstrap: número esperado de espécies. Linha superior e inferior indicam intervalo de confiança de 95%.



Fonte: autoria própria

A diversidade calculada pelo índice de Shannon (**Gráfico 4**) nas três áreas amostrais (1, 2 e 3) retornou os seguintes valores: **área 1**: Apresenta menor diversidade de Shannon, com valores concentrados em torno de 0,5, mas com alguns outliers em níveis muito baixos. **Área 2**: Possui maior diversidade, com valores medianos próximos a 1,0 e uma maior amplitude de variação em comparação aos outros recifes. **Área 3**: Apresenta diversidade intermediária, com valores medianos em torno de 0,8 e menor amplitude de variação que a área 2.

Gráfico 4. Boxplot do índice de diversidade de Shannon para as três áreas amostrais, considerando o valor de diversidade gerado para cada amostra de imagem de cada local. Triângulo: Média. Linha Horizontal: Mediana. Círculos: *Outlier*. Limite inferior e superior da caixa: primeiro e terceiro quartil.



Fonte: autoria própria

Os resultados da ANOVA mostram valores similares entre as três áreas de diversidade. Isso sugere que, do ponto de vista estatístico, a diversidade entre os recifes pode ser considerada homogênea, ao menos dentro das condições e do número de amostras analisadas.

CONCLUSÃO

O estudo confirmou a ausência de *Kappaphycus alvarezii* nos recifes de Pitimbu, Paraíba, indicando que, apesar de introduzida para cultivo há aproximadamente 20 anos, a espécie não se dispersou nem se estabeleceu nos substratos locais, corroborando seu baixo potencial invasor, indo ao encontro dos estudos de Araujo (2013; 2020) e Instrução Normativa do MAPA nº 50/2018.

As previsões contidas nas modelagens realizadas por Castelar (2009), que caracterizaram o Estado da Paraíba com (alto risco) para introdução de *kappaphycus alvarezii*, não se concretizaram após cerca de 20 da presença desta espécie nos ambientes recifais do município de Pitimbu (PB), provavelmente por não ter levado em consideração a linhagem não “agressiva”, informações não disponíveis àquele momento.

A ausência de regulamentação específica para o cultivo desta alga na região Nordeste limita sua expansão sustentável e seus benefícios socioeconômico, sendo urgente uma revisão na Instrução Normativa nº 1/2020 (IBAMA) que limitam as atividades.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Herika Mylena Medeiros de Queiroz et al. Seaweed production potential in the Brazilian Northeast: a study on the Eastern coast of the state of Rio Grande do Norte, RN, Brazil. *Sustainability*, v. 12, n. 3, p. 780, 2020.
- ABOUGABAL, Ashgan A. et al. Marine macroalgal biodiversity, spatial study for the Egyptian Mediterranean Sea, Alexandria Coast. **Thalassas: An International Journal of Marine Sciences**, v. 38, n. 1, p. 639-646, 2022.
- ARAÚJO, Patrícia Guimarães. Avaliação do potencial invasor de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) no litoral da Paraíba, Brasil. 2013.
- ARAUJO, Patricia G. et al. Molecular identification of the exotic lineage of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivated in the tropical region of Brazil. **Phytotaxa**, v. 109, n. 1, p. 17–26, 2013.
- AMADO-FILHO, Gilberto M. et al. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical South West Atlantic. *PloS one*, v. 7, n. 4, p. e35171, 2012.
- ASK, Erick I.; AZANZA, Rhodora V. Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a review with suggestions for future research. *Aquaculture*, v. 206, n. 3-4, p. 257-277, 2002.
- ALCANTARA, James David S.; LAZARO-LLANOS, Nancy. Mineral availability, dietary fiber contents, and short-chain fatty acid fermentation products of *Caulerpa lentillifera* and *Kappaphycus alvarezii* seaweeds. *Kimika*, v. 31, n. 1, p. 1-10, 2020.
- ARAÚJO, Patrícia G. et al. Monitoring environmental risk of the exotic species *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta), after two decades of introduction in southeastern Brazil. **Botanica Marina**, v. 63, n. 6, p. 551-558, 2020.
- Paula EJ, Erbert C, Pereira RTL (2001) Growth rate of the carragenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in vitro. *Phycol Res* 49: 155–161
- ACTION, BLUE TRANSFORMATION IN. The State of World fisheries and aquaculture. 2020.
- BARBOSA-SILVA, Marcelle Stephanie et al. Projecting environmental suitability areas for the seaweed *Gracilaria birdiae* (Rhodophyta) in Brazil: Implications for the aquaculture pertaining to five environmentally crucial parameters. *Journal of Applied Phycology*, v. 35, n. 2, p. 773-784, 2023.

BIXLER, Harris J.; PORSE, Hans. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of applied Phycology*, v. 23, n. 3, p. 321-335, 2011.

BAYU, Asep et al. Biological and technical aspects on valorization of red microalgae genera *Porphyridium*. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, n. 14, p. 12395- 12411, 2023.

BINDU, M. S.; LEVINE, Ira A. The commercial red seaweed *Kappaphycus alvarezii*— an overview on farming and environment. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 789-796, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa IBAMA N° 185, de 22 de julho de 2008. Permitir o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, exclusivamente, na área compreendida entre a Baía de Sepetiba (RJ) e a Ilha Bela (SP), delimitada em terra pela linha de costa e em mar.

BRASIL. **Decreto nº 10.576, de 14 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento da Aquicultura e estabelece medidas para a promoção da sustentabilidade da aquicultura no Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 244, p. 1, 15 dez. 2020.

BRASIL. Decreto nº 11.626, de 2 de agosto de 2023. Institui o Programa Povos da Pesca Artesanal. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portal Nacional de Licenciamento Ambiental. Estudos ambientais. Disponível em: <https://pnla.mma.gov.br/estudos-ambientais>.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia de Assuntos Jurídicos. Decreto nº 10.576, de 14 de dezembro de 2020. Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para a prática da aquicultura. Brasília, 2020.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia de Assuntos Políticos. Lei 11.959 de 29 junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. Brasília, 2009

_____. Presidência da República. Decreto nº 62.913, de 08 de novembro de 2017. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico do Setor do Litoral Norte, e dá providências correlatas.

COLWELL, Robert K. et al. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. **Journal of plant ecology**, v. 5, n. 1, p. 3-21, 2012.

CONTADOR, Cristian Rubén Bulboa; PAULA, Edison José de. Aspectos reprodutivos e biológicos de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva e K. striatum (Schmitz) Doty (Gigartinales, Rhodophyta): bases para introdução e cultivo de espécies exóticas no litoral brasileiro. 2001.

COSTA, Daniel Ramos da. O efeito biofertilizante de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) nas respostas morfofenológicas de plântulas de *Carthamus tinctorius* L.-uma contribuição para a agricultura sustentável no semiárido. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CASTELAR, Beatriz; REIS, Renata Perpetuo; BASTOS, Marcos. Contribuição ao protocolo de monitoramento ambiental da maricultura de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex PC Silva (Areschougiaceae-Rhodophyta) na baía de Sepetiba, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 23, p. 613-617, 2009.

COUTINHO, Izabele Maria Cavalcanti. Implicações sociais, econômicas e ambientais relacionadas a uma laguna costeira do litoral de Pitimbu, Paraíba, Brasil. 2017.

CHAUTON, Matilde Skogen et al. Sustainable resource production for manufacturing bioactives from micro-and macroalgae: Examples from harvesting and cultivation in the Nordic region. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 2, p. 495-506, 2021.

CONKLIN, Eric J.; SMITH, Jennifer E. Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus spp.*, in Kane'ohe Bay, Hawai'i and an experimental assessment of management options. **Biological Invasions**, v. 7, p. 1029-1039, 2005.

CH, Estefany Lema et al. Estudio de la variabilidad en el tiempo y espacio de la actividad antioxidante y composición bioquímica de *Kappaphycus alvarezii* en diferentes densidades de siembra. **Bionatura**, v. 8, n. 1, 2023.

CHAO, Anne. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. **Scandinavian Journal of statistics**, p. 265-270, 1984.

DOTY, Maxwell S. Farming the red seaweed, *Eucheuma*, for carrageenans. **Micronesica**, v. 9, p. 59-73, 1973.

DOTY, Maxwell S.; ALVAREZ, Vicente B. Seaweed farms: a new approach for US industry. In: **Marine Technology Society Annual Conference Paper**. 1973. p.

701- 708.

DE JESUS, Wesley Marcondes; TININIS, Aristeu Gomes; TININIS, Claudia Regina Cançado Sgorlon. Microalgas como substrato para etanol de terceira geração: uma reflexão. **Revista Cogitare**, v. 4, n. 2, p. 44-57, 2021.

DE LUCENA, Leidson Allan Ferreira et al. Levantamento da Flora do Infralitoral do Município de Pitimbu, Litoral Sul do Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, n. S2, p. 585-587, 2007.

DIBHA, A. F. et al. Utilization of secondary metabolites in algae *Kappaphycus alvarezii* as a breast cancer drug with a computational method. *Pharmacognosy Journal*, v. 14, n. 3, 2022.

DOS SANTOS, Alex Alves; HAYASHI, Leila. Sistema de cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em Santa Catarina. *Sistemas de Produção*, n. 55, 2022.

DEANGELO, Julianne et al. Economic and biophysical limits to seaweed farming for climate change mitigation. **Nature plants**, v. 9, n. 1, p. 45-57, 2023.

DE GÓES, Henrique Geromel; REIS, Renata Perpetuo. An initial comparison of tubular netting versus tie-tie methods of cultivation for *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 607-613, 2011.

DE GÓES, Henrique Geromel; REIS, Renata Perpetuo. An initial comparison of tubular netting versus tie-tie methods of cultivation for *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the south coast of Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 607-613, 2011.

DE GÓES, Henrique Geromel; REIS, Renata Perpetuo. 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.

DA CRUZ SUZART, Livia Galdino; DO AMARAL VENDRAMINI, Ana Lúcia. Aplicações Biotecnológicas da Macroalga *Kappaphycus alvarezii*: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospeção**, v. 14, n. 4, p. 1145-1158, 2021.

GT AGENDA 2030. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). 2023.

DE BARROS-BARRETO, Maria Beatriz Barbosa et al. *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) cultivated in Brazil: is it only one species?. **Journal of applied phycology**, v. 25, p. 1143-1149, 2013.

ENGLE, Carole R.; VAN SENTEN, Jonathan. Resilience of communities and sustainable aquaculture: governance and regulatory effects. **Fishes**, v. 7, n. 5, p. 268, 2022.

ELOY, Christinne Costa; FRANÇA, Henrique EC; MASSEI, Karina. DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA E CONSERVAÇÃO DOS RECIFES DE

CORAL DA PARAÍBA,
ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL. *Environmental Smoke*, v. 4, n. 3, p. 45-52, 2021.

FERREIRA, Ana Beatriz Gomes. **Macroalgas marinhas: conhecimentos tradicionais e serviços ecossistêmicos**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GUIMARÃES ARAÚJO, Patrícia. Ecologia populacional de *Gracilaria birdiae* (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) na Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba-Brasil. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

GHILARDI, Natalia Pirani et al. An alternative environmental monitoring approach to nonindigenous species introduced for maricultural purposes: the case of *Kappaphycus alvarezii* (*Rhodophyta*, *Solieriaceae*) cultivation in Brazil. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 2, p. 8, 2008.

GELLI, Valéria Cress et al. Desenvolvimento ordenado e potencial da produção da macroalga *Kappaphycus alvarezii* no estado de São Paulo para a produção do biofertilizante. 2019.

GELLI, Valeria Cress et al. Production of the *Kappaphycus alvarezii* extract as a leaf biofertilizer: technical and economic analysis for the north coast of São Paulo- Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 46, n. 2, 2020.

GOMES, Janaina da Silva. **Estudo da composição química da macroalga *Gracilaria Birdiae* na zona costeira de Pitangui-Extremoz/RN**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GUIRY, Michael D. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National university of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org/>, 2010.

GOOGLE Earth website. (2009). Recuperado de <http://earth.google.com/>

G.M. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 01 July 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org/>; searched on 22 November 2024.

HARGREAVES, Paulo Iiboshi. Produção de etanol a partir de *Kappaphycus alvarezii*- Biocombustível de terceira geração. **Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos**. Escola de Química Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

HAYASHI, Leila. **Contribuição à maricultura da alga vermelha *Kappaphycus alvarezii* (*Rhodophyta*, *Solieriaceae*) para produção de carragenanas**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HAYASHI, Leila et al. *Kappaphycus alvarezii* (*Rhodophyta*, *Areschougaceae*) cultivated in subtropical waters in Southern Brazil. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 337-343, 2011.

HAYASHI, Leila et al. *Kappaphycus alvarezii* Farming in Brazil: A Brief Summary and Current Trends. **Tropical Phyconomy Coalition Development: Focus on Eucheumatoid Seaweeds**, p. 113-120, 2024.

HAYASHI, Leila et al. Callus induction and micropropagation improved by colchicine and phytohormones in *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae). In: **Nineteenth International Seaweed Symposium: Proceedings of the 19th International Seaweed Symposium, held in Kobe, Japan, 26-31 March, 2007**. Springer Netherlands, 2009. p. 203-209.

HINALOC, Lourie Ann R.; ROLEDA, Michael Y. Phenotypic diversity, growth and sexual differentiation in the progeny of wild *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Florideophyceae). **Phycologia**, v. 60, n. 6, p. 547-557, 2021.

HURTADO, Anicia Q. et al. The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. **Aquaculture** v. 199, n. 3-4, p. 295-310, 2001.

HOLT, Ben G. et al. Comparing diversity data collected using a protocol designed for volunteers with results from a professional alternative. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 4, n. 4, p. 383-392, 2013.

IBAMA. Instrução Normativa N° 185, de 22 de Julho de 2008.

IBAMA. Instrução Normativa N° 1, de 21 de Janeiro de 2020.

LEITE, Daniel Silva Lula et al. Estado de conservação dos recifes costeiros da Paraíba, Brasil: a relação com a política e a gestão ambiental. 2019

JOLY, Aylthon Brandão. **Gêneros de algas marinhas da costa atlântica latino-americana**. São Paulo, Ed. da USP, 1967.

JOSE, de Paula Edison; PEREIRA, Ricardo Toledo Lima; OHNO, Masao. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of Sao Paulo State, Brazil. **Phycological Research**, v. 50, n. 1, p. 1- 9, 2002.

JUNIOR, Paulo Torres et al. Alginocultura e inovação social: o desenvolvimento local sob a perspectiva das mulheres algicultoras, 2022.

KUMARI, Puja et al. Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 749-757, 2010.

KAMALAKANNAN, B. et al. Impact of removal of invasive species *Kappaphycus alvarezii* from coral reef ecosystem in Gulf of Mannar, India. **Current Science**, p. 1401-1408, 2014.

KANAGAWA, A. I. ; MIRANDA, G. E. C. ; COSTA, E. S. Levantamento das macroalgas de águas continentais da microrregião do curimataú oriental do Estado da Paraíba. In: X Reunião da Sociedade Brasileira de Ficologia, 2004, Salvador. Programa e Resumos da X Reunião da Sociedade Brasileira de Ficologia, 2004.

KOHLER, K.E. and Gill, S.M. (2006) Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe): A Visual Basic Program for the Determination of Coral and Substrate Coverage Using Random Point Count Methodology. *Computers and Geosciences*, 32, 1259-1269.

KHOTIJAH, Siti; IRFAN, Muhammad; MUCHDAR, Fatma. Nutritional composition of seaweed *Kappaphycus alvarezii*. **Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan**, v. 13, n. 2, p. 139-146, 2020.

LI, Hongmei et al. Carbon sequestration in the form of recalcitrant dissolved organic carbon in a seaweed (kelp) farming environment. **Environmental science & technology**, v. 56, n. 12, p. 9112-9122, 2022.

LEONG, Regina Zhi-Ling et al. Potential of by-product of *Kappaphycus alvarezii* derived from bioethanol production as biofertilizer in growing of *Ocimum basilicum* in an aquaponic system. 2022.

LUCENA, L.A.F. et al. Levantamento da flora do infralitoral no município de Pitimbu, litoral sul do Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 5: 585–587. 2007.

LOPEZ-SANTAMARINA, Aroa et al. Potential prebiotic effect of two Atlantic whole brown seaweeds, *Saccharina japonica* and *Undaria pinnatifida*, using in vitro simulation of distal colonic fermentation. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1170392, 2023.

LOPES, Julia Serpa et al. *Kappaphycus alvarezii* flours as an ingredient for seaweed- enriched, rice-based, snacks: raw algae pretreatment and physical properties of the dough and snacks. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 58, n. 5, p. 2448-2457, 2023.

LEITE, Daniel Silva Lula; MIRANDA, George Emmanuel Cavalcanti de. Avaliação e proposta de monitoramento do estado de conservação de ambiente recifal costeiro do Estado da Paraíba, Brasil: contribuições para gestão ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 11, p. 949-967, 2018.

LUEZUTE KRIPKA, Rosana Maria; SCHELLER, Morgana; DE LARA BONOTTO, Danusa. Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização. **Revista de Investigaciones de la UNAD**, v. 14, n. 2, 2015.

LEONG, Regina Zhi-Ling et al. Potential of by-product of *Kappaphycus alvarezii* derived from bioethanol production as biofertilizer in growing of *Ocimum basilicum* in an aquaponic system. 2022.

MENCIA, Francis Paola Hernandez; ZANCHI, Fabricio Berton; DO NASCIMENTO LOPES, Elfany Reis. Climatic characteristics and their implications among the pedological and topographical aspects of southern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 24-48, 2021.

MAKKAR, H. P.S. et al. Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science And Technology*, v. 212, p.1-17, fev. 2016.

MARTINS, Aline P.; CHOW, Fungyi; YOKOYA, Nair S. Ensaio in vitro da enzima nitrato redutase e efeito da disponibilidade de nitrato e fosfato em variantes pigmentares de *Hypnea musciformis* (Wulfen) JV Lamour.(Gigartinales, Rhodophyta). **Brazilian Journal of Botany**, v. 32, p. 635-645, 2009.

MURUGAN, Aswini et al. Fabrication and characterization of *Kappaphycus alvarezii* biomass based thin-film and its applications. **Food and Humanity**, v. 1, p. 589-598, 2023.

MANDAL, Subir Kumar et al. Invasion potential of *Kappaphycus alvarezii* on corals at Kurusadai Island, Gulf of Mannar, India. **Algae**, v. 25, n. 4, p. 205-216, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 50, de 12 de setembro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 set. 2018.

Seção 1, p. 5.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA nº 25, de 28 de julho de 2009. Estabelece as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Instrução Normativa nº 50, de 12 de setembro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 set. 2018. Seção 1, p. 5.

OLIVEIRA, F. M.; Amaral, A. L. Natural Occurrence and Invasive Potential of *Kappaphycus alvarezii* in Brazilian Coastal Waters. *Journal of Phycology*, v. 57, n. 3, p. 520-530, 2021.

OMAYIO, Dennis; MZUNGU, Emmanuel; KAKAMEGA, Kenya. Modification of shannon-wiener diversity index towards quantitative estimation of environmental wellness and biodiversity levels under a non-comparative Scenario. **Journal of Environment and Earth Science**, v. 9, n. 9, p. 46-57, 2019.

PAULA, Edison José de; PEREIRA, Ricardo T. Lima. Cultivo de algas: da maricultura à maricultura da alga exótica, *Kappaphycus alvarezii* para produção de carragenanas no Brasil. **Panorama da Aquicultura**, v. 8, n. 48, p. 10-15, 1998.

PAULA EJ, Pereira RTL (2003) Factors affecting growth rates of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva (Rhodophyta, Solieriaceae) in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. In: Chapman ARO, Anderson RJ, Vreedland VJ, Davison IR (eds) Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium. Oxford University Press, Oxford, pp 381–388

PEREIRA, R. et al. *Kappaphycus alvarezii*: A Comprehensive Review of the Cultivation, Production, and Applications of an Economically Important Seaweed. *Marine Drugs*, v. 20, n. 4, p. 233-256, 2022.

PEREIRA, S. M. B. Rodofíceas marinhas da Ilha de Itamaracá e arredores (Estado de Pernambuco-Brasil). 1977. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, L. As Algas Marinhas e Respectivas Utilidades. Departamento de Botânica. Universidade de Coimbra, 2020. 19 p.

PEREIRA, Leonel. As algas marinhas e respectivas utilidades. **Monografias**, v. 913, p. 1-19, 2008.

PEREIRA, L. A.; MOREIRA, R.; ROCHA, D. A. A maricultura e as bases econômicas, sociais e ambientais que determinam seu desenvolvimento e sustentabilidade. *Ambiente & Sociedade*, v. XVIII, n. 3, p. 41–54, 2015.

PEREIRA, S. M. B. Rodoficeas marinhas da Ilha de Itamaracá e arredores (Estado de Pernambuco-Brasil). 1977. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, R. et al. *Kappaphycus alvarezii*: A Comprehensive Review of the Cultivation, Production, and Applications of an Economically Important Seaweed. *Marine Drugs*, v. 20, n. 4, p. 233-256, 2022.

PARANHOS, R. et al. Revealing the microbial assemblages in the rhizosphere of the temperate marine macrophyte Patagonian *Ulva* sp. using 16S rRNA gene sequence analysis. *Environmental Microbiology Reports*, v. 9, n. 6, p. 668-679, 2017.

PELLIZZARI, Franciane; REIS, Renata Perpetuo. Seaweed cultivation on the southern and southeastern Brazilian coast. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, p. 305- 312, 2011.

PIOVESAN, Armando; TEMPORINI, Edméa Rita. Pesquisa exploratória: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. **Revista de saúde pública**, v. 29, p. 318-325, 1995.

RAMAN, M.; DOBLE, M. κ -Carrageenan from marine red algae, *Kappaphycus alvarezii* – A functional food to prevent colon carcinogenesis. *Journal Of Functional Foods*, v. 15, p.354-364, maio 2015.

RESTORATIVE Aquaculture for Nature and Communities. *The Nature Conservancy*, 2021.

REIS, Renata Perpetuo; BASTOS, Marcos; GÓES, Henrique Geromel. Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro. **Panor Aqüic**, v. 17, n. 89, p. 42-47, 2007.

REIS, R. P.; Castelar, B.; Santos, A. A. Why is algaculture still incipient in Brazil? *Journal of Applied Phycology*, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 673-682, 2017.

REIS, R.P.; LOUREIRO, R.R.; MESQUITA, F.S. A salinidade afeta o crescimento e o rendimento de carragenina de *Kappaphycus alvarezii* (*Gigartinales/Rhodophyta*)? *Aquaculture Research* 42: 1231–1234. 2011.

REIS, R. P. Monitoramento ambiental da alga exótica *Kappaphycus alvarezii* cultivada comercialmente nas baías de Sepetiba e da Ilha Grande, RJ. Relatório Técnico para o CEPESUL-Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do

Litoral Sudeste e Sul- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2007.

RIBEIRO, Ana Lúcia et al. Curso Mulheres em Ação-Flor-e-ser-Pescadoras: apostila orientadora de conteúdo. Boletim Didático, n. 168, 2023.

RODGERS; S.K.; COX, E.F. Taxa de disseminação das rodófitas introduzidas *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* e *Gracilaria salicornia* e suas distribuições atuais na Baía de Kane'ohe, O'ahu, Havaí. Pacific Science 53: 232–241. 1999.

RUDKE, A. R.; DE ANDRADE, C. J.; FERREIRA, S. R. S. *Kappaphycus alvarezii* macroalgae: An unexplored and valuable biomass for green biorefinery conversion. Trends in Food Science & Technology, v. 103, p. 214–224, 1 set. 2020.

SANTANA, M.W. Prospecção de áreas propícias para o cultivo de macroalgas na região da costa negra, Ceará, Brasil. Tese (Doutorado), pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais - Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2017.

SANTOS, A.A.; HAYASHI, L. Sistema de cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em Santa Catarina. Florianópolis, SC: Epagri, 2022. 56p. (Epagri. Sistemas de Produção, 55).

SANTOS, ALEX DOS; HAYASHI, LEILA. Produção de *Kappaphycus alvarezii* em Santa Catarina: uma estimativa entre novembro de 2021 e abril de 2022. Ano 2022. Acesso em 10 de janeiro de 2023. 1934.

SANTOS, A. A.; HAYASHI, L. Nota técnica da Epagri traz orientações para evitar superprodução de macroalga em SC. Scientific Electronic Archives, 20 maio 2024.

SANTOS, A. A. Produção da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em Santa Catarina, safra 2022/2023. Agropecuária Catarinense, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 7–9, 2023.

SANTOS, T.V.O. Determinação Da Adequabilidade De Áreas Potenciais Para O Desenvolvimento Responsável Da Produção De *Kappaphycus Alvarezii* Utilizando Sistemas De Informações Geográficas (Sig): Um Estudo De Caso Do Setor Costeiro Da Baía Da Ilha Grande (Rj). Niterói, 2022.

SEPULVEDA, M. Maricultura da macroalga *Kappaphycus alvarezii* como suporte ao desenvolvimento socioeconômico no litoral do estado do Rio de Janeiro. Aquaculture Brasil, 2022.

SEPULVEDA, MIGUEL. O potencial da Maricultura. oferta mundial da Macroalga *Kappaphycus alvarezii* cresce para atender demanda por carragena. Panorama da Aquicultura, 2016.

SEPULVEDA M. (2021) The Potencial of Seaweed Farming in Brazil. Insights in Aquaculture Biotechnology Vol. 5 No. 2: 1.

SATRIANI, Gloria Ika et al. Molecular Assessment of *Kappaphycus alvarezii* Cultivated in Tarakan based on cox2-3 Spacer. Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology, v. 18, n. 1, p. 52-64, 2023.

SATRIANI G.I., Tri SoelistyowatiD., Alimuddin, ArfahH. and EffendiI. 2024. Identification of *Kappaphycus alvarezii* seaweed based on phylogenetic and carrageenan content. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 23, 1 (Jan. 2024), 1-11.

SATRIANI, Gloria Ika et al. Identification of *Kappaphycus alvarezii* Seaweed Based on Phylogenetic and Carrageenan Content. **Jurnal Akuakultur Indonesia**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2024.

SILVA, Enid Rocha Andrade da; PELIANO, A. M. CHAVES, J. V. Agenda 2030: ODS-Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável. 2018. Brasília: IPEA, 2020.

SILVA NETO, Heronildes Lima da. DE CISCO A BIOESTIMULANTES: maricultura de macroalgas marinha como fonte de renda e de desenvolvimento sustentável em Rio do Fogo-RN. 2020.

SORIANO, E. M.; W.S.C., M.; M.A.A., C. Some Aspects of the Growth of *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) in an Estuary in Northeast Brazil. *Aquaculture International*, v. 14, n. 4, p. 327–336, 2006.

SMITH, Eric P.; VAN BELLE, Gerald. Nonparametric estimation of species richness. **Biometrics**, p. 119-129, 1984

TANOEIRO, João Rui et al. Advanced techniques for cultivating algae with regard to the industrialization. In: **Algae Materials**. Academic Press, 2023. p. 117-131.

TANO, Stina A. et al. Tropical seaweed beds as important habitats for juvenile fish. **Marine and Freshwater Research**, v. 68, n. 10, p. 1921-1934, 2017.

VAGHELA, Pradipkumar et al. Characterization and metabolomics profiling of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract. **Algal Research**, v. 66, p. 102774, 2022.

VANCLAY, Jerome K. Indicator groups and faunal richness. **Forest Biometry, Modelling and Information Sciences**, v. 1, n. 1, p. 105-113, 2004.

MANTRI, Vaibhav A.; MUNISAMY, Shanmugam; KAMBEY, Cicilia SB. Biosecurity aspects in commercial *Kappaphycus alvarezii* farming industry: An India case study. **Aquaculture Reports**, v. 35, p. 101930, 2024.

WEBBER, Vanessa et al. Optimization of the extraction of carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* using response surface methodology. **Food science and Technology**, v. 32, p. 812-818, 2012.

ZUCCARELLO, G. C.; CRITCHLEY, A. T.; SMITH, J; SIEBER, V; LHONNEUR, G. B.; WEST, J. A. Systematics and genetic variation in commercial shape *Kappaphycus* and shape *Eucheuma* (Solieriaceae, Rhodophyta). (2006) *Journal of Applied Phycology* 18(3): 643-651 • DOI: 10.1007/s10811-006-9066-2. Acesso em 12 de junho de 2022.

Disponível em: [ZUCCARELLO](#)

ZUNIGA-JARA, Sergio; MARIN-RIFFO, Maria. Bioeconomic analysis of small-

scale cultures of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty in India. **Journal of applied phycology**, v. 28, p. 1133-1143, 2016.

XIONG, Tianqi et al. Seaweed farming environments do not always function as CO₂ sink under synergistic influence of macroalgae and microorganisms. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 361, p. 108824, 2024.