

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

ALICE BATISTA CARVALHO DE AZEVEDO

**DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS E CONTAMINANTES EM
MACROALGAS MARINHAS PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL USO COMO
FERTILIZANTE**

Maceió
2024

ALICE BATISTA CARVALHO DE AZEVEDO

**DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS E CONTAMINANTES EM
MACROALGAS MARINHAS PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL USO COMO
FERTILIZANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Química da
Universidade Federal de Alagoas como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia de Lourdes das
Graças Teles

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Daniela Santos
Anunciação

Maceió
2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

A994d Azevedo, Alice Batista Carvalho de.

Determinação de nutrientes minerais e contaminantes em macroalgas marinhas para avaliação do potencial uso como fertilizante / Alice Batista Carvalho de Azevedo. – 2024.

45 f. il. : figs. ; tabs. color.

Orientadora: Vânia de Lourdes das Graças Teles.

Co-orientadora: Daniela Santos Anunciação.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química).
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 37-43.

Apêndices: f. 44-45.

1. Macroalgas. 2. Nutrientes inorgânicos. 3. Fertilizantes naturais. I.
Título.

CDU:661.152

Dedico este trabalho aos meus pais, Angélica e Douglas, aos meus avós Nadeje, Hélio, Tereza (*in memorian*) e Jair por todo incentivo para a realização desse grande sonho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por ser refúgio nos momentos ruins, por ter me guiado até onde estou com sabedoria e força para lidar com os obstáculos que a vida proporciona.

Aos meus pais, Angélica e Douglas, que sempre dedicaram a vida para cuidar de mim e me proporcionar a melhor educação que fosse possível. Durante toda a minha trajetória vocês foram o motivo dos meus esforços e quem eu realmente sabia que estaria aqui até quando tudo parecesse errado.

À toda a minha família, meus avós maternos e paternos, meu tio Alexandre, minhas tias Vanessa, Talma e Denise, minha bisavó Elba e minhas primas Beatriz e Amanda que sempre me apoiaram, alguns mesmo de longe, me incentivaram desde o início e entenderam a minha ausência em muitos momentos.

À minha orientadora que acolheu a minha vontade e meu desejo de fazer a pesquisa nessa área, auxiliou meus passos e tornou possível a realização deste trabalho.

Aos colaboradores do Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Alimentos – LTBA que me auxiliaram durante as pesquisas.

Ao meu namorado, Bruno, que divide a sua vida comigo todos os dias e que ouviu minhas angústias do início ao fim do curso, mas que nunca me deixou desistir e me apoiou em todas as minhas decisões.

Aos meus colegas de curso, que se tornaram verdadeiros amigos e estão comigo até hoje, mas foram meus companheiros em todos os momentos da graduação: Gabrielly, Lucas, Samara, Marlos e Thalyta.

Aos meus amigos de infância, Marília, Davy e Milena, por todos os momentos bons compartilhados durante toda a vida.

Às minhas amigas, Julia, Liandra, Lara, Bárbara e Emilly, que estão comigo desde o ensino fundamental e compartilham momentos incríveis comigo mesmo que hoje cada uma esteja seguindo as suas escolhas.

Aos meus amigos do CT *Fire Brothers* que eu tive o prazer de encontrar e que considero como minha segunda família. Vocês me acolheram, me ouviram em momentos difíceis e dividiram momentos incríveis comigo, em especial: Lucas Luz, Yasmin, Bernardo, Dalton, Rique e Charliton.

Muito obrigada.

RESUMO

Os fertilizantes são classificados pela legislação brasileira como mineral (inorgânico) ou orgânico e natural ou sintético, cuja composição fornece pelo menos um nutriente para o desenvolvimento das plantas. Como exemplo de fontes de fertilizantes naturais, as macroalgas marinhas que se depositam naturalmente nas praias têm sido foco de estudo da comunidade científica, uma vez que as ações antropogênicas e mudanças climáticas têm contribuído para o crescimento acelerado e aumento de diferentes macroalgas nas praias urbanas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Fe, Pb, Se, V e Zn por Espectrometria de Emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) nas macroalgas *Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa* coletadas nas praias urbanas de Maceió (Ipioca e Pajuçara) para avaliar sua potencialidade como fertilizante. De modo geral, o teor de cinzas das macroalgas *Sargassum sp* e *Ulva compressa* variou de 24,6 a 39,0%, respectivamente. A determinação dos elementos Cd, Co, Pb, Se e V nas macroalgas foi abaixo do limite de quantificação e a *caulerpa racemosa* mostrou-se maior acumuladora de Na quando comparada às outras macroalgas. A partir dos resultados, foi possível avaliar que as macroalgas possuem perfis de composição elementar semelhantes, independente do ponto de coleta, exceto para o teor de Fe (2.440 mg/Kg) na *Ulva compressa* na praia da Pajuçara. Além disso, a *Sargassum sp* mostrou-se com maiores teores de Ba e As e a *Ulva compressa* de Cr e Ni, o que corrobora com estas espécies de macroalgas como bioindicadores ambientais destes elementos. Logo, as macroalgas marinhas estudadas têm potencialidade como fontes de nutrientes inorgânicos na forma de fertilizante quando não estiverem contaminadas por metais com elevado potencial de toxicidade.

Palavras-Chave: macroalgas. Inorgânicos. Fertilizante natural.

ABSTRACT

Fertilizers are classified by Brazilian legislation as mineral (inorganic) or organic and natural or synthetic, whose composition provides at least one nutrient for plant development. As an example of sources of natural fertilizers, marine macroalgae that are naturally deposited on beaches have been the focus of study by the scientific community, since anthropogenic actions and climate change have contributed to the accelerated growth and increase of different macroalgae on urban beaches. In this sense, the objective of this work was to determine Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Fe, Pb, Se, V and Zn by optical emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-OES) in the macroalgae *Sargassum* sp, *Ulva compressa* and *Caulerpa racemosa* collected on the urban beaches of Maceió (Ipioca and Pajuçara) to evaluate their potential as fertilizer. In general, the ash content of the macroalgae *Sargassum* sp and *Ulva compressa* ranged from 24.6 to 39.0%, respectively. The determination of the elements Cd, Co, Pb, Se and V in the macroalgae was below the limit of quantification and the *remosa ursorpa* proved to be a greater Na accumulator when compared to the other macroalgae. From the results, it was possible to assess that macroalgae have similar elemental composition profiles, regardless of the collection point, except for the Fe content (2,440 mg/Kg) in *Ulva compressa* on Pajuçara beach. Furthermore, *Sargassum* sp showed higher levels of Ba and As and *Ulva compressa* of Cr and Ni, which corroborates these macroalgae species as environmental bioindicators of these elements. Therefore, the marine macroalgae studied have potential as sources of inorganic nutrients in the form of fertilizer when they are not contaminated by metals with high toxicity potential.

Keywords: macroalgae. Inorganic. Natural fertilizer

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Indústria de fertilizantes	9
3.2 Fertilizantes.....	10
3.3 Sargaços.....	12
3.3.1 <i>Sargassum sp</i>	14
3.3.2 <i>Ulva compressa</i>	14
3.3.3 <i>Caulerpa racemosa</i>	15
3.4 Nutrição mineral das plantas.....	16
3.5 Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)	18
4. METODOLOGIA.....	19
4.1 Materiais e reagentes.....	19
4.2 Amostras.....	20
4.3 Teor de cinzas.....	21
4.4 Preparo das amostras para determinação multielementar	21
4.5 Tratamento estatístico dos dados	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
5.1 Teor de cinzas.....	23
5.2 Determinação multielementar	26
5.2.1 Macronutrientes	27
5.2.2 Micronutrientes.....	28

5.2.3	Elementos não essenciais.....	30
5.3	Potencialidade das macroalgas como fertilizante	33
6.	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICE 1	44

1. INTRODUÇÃO

O aumento da necessidade por insumos agrícolas é o reflexo do crescimento exponencial da população mundial, o que corrobora com o fortalecimento do setor primário da economia brasileira de modo a expandir a produção de alimentos para atender ao mercado interno e as exportações. Devido a necessidade da ampliação na produção, surge também a demanda pelos fertilizantes que são os insumos mais utilizados para auxiliar a nutrição das plantas e a fertilidade do solo (MOREIRA et al., 2013).

Os fertilizantes naturais são oriundos de fontes de matéria orgânica como resíduos de animais ou vegetais (MEDEIROS; LOPES, 2006). Eles têm sido alvo de estudos como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo, pois estimulam o crescimento das plantas fornecendo nutrientes e diminuem os impactos negativos que os fertilizantes químicos podem causar. Estes, quando utilizados de maneira demasiada, degradam a qualidade do solo, poluem as fontes de água e também contribuem para a resistência das pragas nas plantações, deixando as plantas vulneráveis a algumas doenças (COLOMBO, 2022). Contudo, de modo geral, os fertilizantes são fontes de nutrientes minerais para o desenvolvimento dos vegetais e contribuem para a produção de alimentos para satisfazer as necessidades humanas.

Os macronutrientes minerais para o desenvolvimento das plantas são P, N, K, S, Ca e Mg. O Nitrogênio na forma de gás (N_2) necessita ser convertido em amônio e nitrato para ser absorvido pelas plantas e tem papel fundamental no crescimento destas. O Fósforo precisa ser convertido em $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} para que a absorção aconteça e é utilizado pelas plantas na produção de adenosina trifosfato (ATP) para gerar energia nos processos de fotossíntese e divisão celular. O Potássio é adsorvido na sua forma de íon e é importante no transporte de água e íons através da membrana celular (REETZ, 2016).

Os micronutrientes são elementos comuns às plantas e apesar de ocorrerem em menor proporção, estes podem ser quantificados. Geralmente têm seus teores expressos em partes por milhão (ppm) e a única distinção entre os macronutrientes e micronutrientes são a concentração na qual estão presentes na planta, visto que os macronutrientes têm concentrações de 10 a 5.000 vezes maior que os micronutrientes. Dentre os micronutrientes encontram-se o B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (FAQUIN, 2005), Ni (FABIANO *et al*, 2015) e Co (HU, X, 2021).

Os fertilizantes naturais são boas alternativas para a produção de alimentos, pois possuem tais nutrientes em quantidades suficientes para auxiliar na fertilização das plantas (REETZ, 2016). Como exemplo de fertilizante natural, as macroalgas marinhas têm sido relatadas na literatura científica como potenciais fontes de nutrientes para solo e plantas,

inclusive já existem no mercado marcas à base destas matrizes. Villares *et al* (2016) concluíram que estas espécies possuem nutrientes essenciais às plantas e Sousa (2020) estudou extratos líquidos de sargaços, provando que estes são eficientes na germinação de sementes.

Os sargaços são um conjunto de espécies de macroalgas marinhas que se depositam nas faixas de areia das praias, sendo que a frequência, crescimento acelerado e alta diversidade tem refletido nas influências direta e indireta das ações antropogênicas. O crescimento dessas macroalgas é considerado um fenômeno natural, porém o seu excesso pode representar perigos para os corais, manguezais, segurança das embarcações locais, além do impacto negativo para o setor turístico e para a saúde humana com a liberação de gases como metano, sulfeto de hidrogênio e amônia, provenientes da decomposição dos sargaços (RESIERE *et al.*, 2018). Além disso, há a questão ambiental relacionada ao descarte destes resíduos em grande volume que diminui a vida útil de aterros sanitários.

Tais impactos econômicos, biológicos e ambientais causados pelo acúmulo destas biomassas são de interesse da comunidade científica quanto à valoração econômica destes resíduos. As universidades e os centros de pesquisa buscam encontrar resultados positivos na utilização das macroalgas marinhas na agricultura como (bio)fertilizantes, nutrição animal, na indústria farmacêutica e também na geração de energia com a captação do biogás liberado na sua decomposição (COLOMBO, 2022).

Diante destes aspectos, este estudo apresenta a determinação por Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) em três espécies de macroalgas marinhas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) coletadas em duas localidades de Maceió/AL (Praia de Ipioca e Praia de Pajuçara) para avaliação do potencial como fertilizante natural.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar os nutrientes minerais e contaminantes presentes nas macroalgas marinhas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) oriundas de praias do litoral alagoano para avaliar sua potencialidade como fertilizante.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o teor de cinzas nas macroalgas;
- Determinar os elementos essenciais K, Ca, Co, Fe, Mg, Mn, Ni, Se e Zn nas macroalgas;
- Determinar elementos não essenciais para as plantas tais como As, Ba, Cd, Co, Cr, Na, V e Pb;
- Avaliar a bioacumulação de elementos essenciais e de contaminantes em macroalgas de duas praias urbanas de Maceió/AL;
- Avaliar a potencialidade das macroalgas como fontes promissoras dos nutrientes inorgânicos para as plantas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

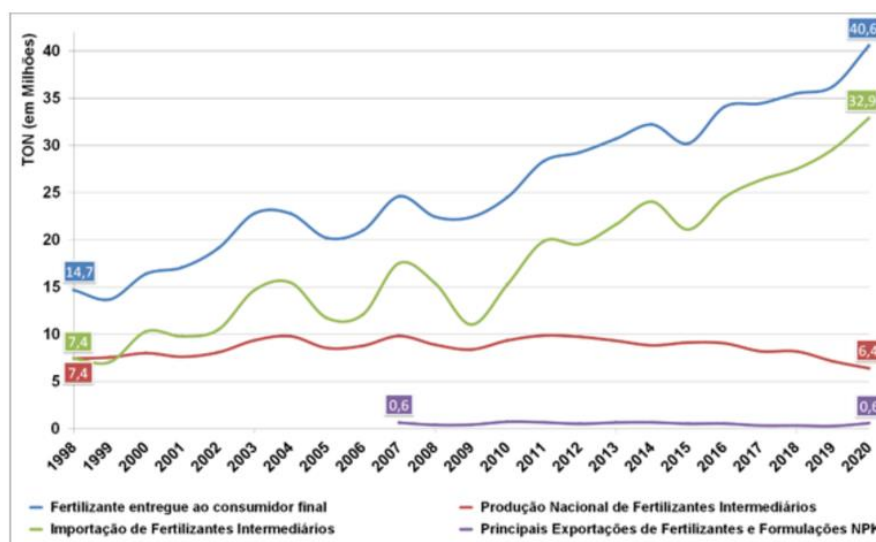
3.1 Indústria de fertilizantes

A extensão territorial do Brasil com seus diferentes climas e tipos de solos gera necessidades por insumos agrícolas específicos que garantam a continuidade da produção dos alimentos nas diferentes regiões do país. O uso de técnicas para enriquecimento do solo tornou-se cada vez mais comum, principalmente objetivando o crescimento da produtividade. A agricultura tem papel fundamental no setor primário da economia do país e o fortalecimento do agronegócio reflete diretamente no setor industrial dos fertilizantes, visto que, ao passar do tempo, as buscas por esses produtos se tornam cada vez mais progressivas (EMBRAPA, 2018). Essa crescente demanda obriga o país a utilizar fertilizantes importados para suprir a necessidade interna já que a produção brasileira atualmente não atinge o esperado (SAMBUICHI et al. 2012).

De 1974 a 1980, o Brasil chegou a produzir aproximadamente 1,9 milhões de toneladas de nitrogênio e fósforo e isso representou cerca de 50% da necessidade de consumo interno do país. Esse avanço produtivo levou a criação de programas de incentivo vindos do governo, como o Plano Nacional de Fertilizantes (1987-1995) que contava com ampliações e novas implantações, colocando assim a produção interna para suprir o consumo interno em 59% (CUNHA, 2017). Contudo, esse aumento ainda não é suficiente e surge a necessidade da utilização dos fertilizantes importados. Estas importações podem causar vulnerabilidades econômicas, pois colocam o Brasil no meio das flutuações dos preços no mercado internacional, e também uma possível escassez de insumos. Logo, desponta a necessidade do avanço tecnológico para o setor como alternativa para alavancar novamente o mercado interno fazendo o uso de matérias-primas nas quais o país possui reservas minerais e orgânicas, assim como tecnologia e recursos para investir na sua capacidade produtiva e tornar-se menos dependente do mercado internacional (CUNHA, 2017).

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2021), nos últimos anos o Brasil tem apresentado um grande crescimento das importações de fertilizantes e, em 2020, estas importações chegaram a 32.872.543 toneladas. No ano de 2019, o volume importado era 11% inferior ao ano seguinte e isso representa um aumento significativo nas importações em um período de apenas um ano. A Figura 1 a seguir mostra o aumento das importações desde 1998 até 2020, totalizando um aumento de 445% em duas décadas (ANDA, 2021).

Figura 1 - Mercado de fertilizantes no Brasil.



Fonte: ANDA, 2021.

3.2 Fertilizantes

Historiadores relatam que nos tempos antigos, na Mesopotâmia, a produtividade exacerbada chamava muito a atenção. Isto era resultado de uma soma de fatores como o solo da região de alta fertilidade, relacionada às enchentes anuais dos rios, e dos sistemas de irrigação eficientes que eram utilizados pela população. Porém, com o passar do tempo, observou-se que o aumento da produtividade e o cultivo contínuo acarretaria um decréscimo na produção devido à ausência de nutrientes do solo. Neste caso, surgiram alternativas como a adição de restos de vegetais, sangue e esterco de animais para melhoria das condições de fertilidade dessas áreas. Com a chegada do século 21 e a ampliação da produtividade na agricultura, as buscas progressivas por estes produtos causam a necessidade de importação dos mesmos já que a produção brasileira não tem suprido o aumento dessa demanda (LOPES; GUILHERME, 2007).

Os fertilizantes são classificados pela legislação brasileira como mineral (inorgânico) ou orgânico, natural ou sintético, cuja composição fornece pelo menos um nutriente para o desenvolvimento das plantas. Eles são responsáveis por aproximadamente metade da produção mundial de culturas e a manutenção desta produção depende da indústria de fertilizantes para o fornecimento correto dos nutrientes na dose certa, na época certa e no local adequado (REETZ, 2016).

Mundialmente, os fertilizantes mais utilizados são os químicos (minerais), esterco e os resíduos de plantas. Os fertilizantes minerais são compostos inorgânicos que podem ser de origem natural, explorados e extraídos de várias localidades, ou produzidos industrialmente. Neste último caso, esses insumos agrícolas passam por processos industriais com objetivos específicos para torná-los aptos a serem utilizados na reposição de nutrientes para o solo e ser absorvido pelas plantas. É possível classificar os fertilizantes minerais quanto aos seus critérios físicos e químicos e isto possibilita fazer a escolha e a utilização do fertilizante adequado, garantindo a segurança alimentar global. Quanto ao critério químico, classificam-se os fertilizantes como: simples, mistos e complexos (BRASIL, 2012), conforme descrição a seguir:

- Fertilizantes simples: formados por apenas um composto químico, podendo conter um ou mais nutrientes, sejam macro e micronutrientes, ou ambos.
- Fertilizantes mistos: mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou os dois.
- Fertilizantes complexos: fertilizante composto por dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, e que pode conter dois ou mais nutrientes.

Os fertilizantes orgânicos são produtos de origem essencialmente orgânica que são obtidos através de matérias-primas de origem natural (vegetal ou animal) e que podem ser enriquecidos ou não com outros compostos. Estes produtos precisam atender às especificações da legislação vigente (Brasil, 2004) quanto aos parâmetros observados como por exemplo: umidade, carbono orgânico, nitrogênio, pH e outros. Os fertilizantes orgânicos mais conhecidos são os esterco de animais, compostos orgânicos, resíduos industriais e óleos vegetais (BOTELHO et al., 2020).

Dentre os fertilizantes orgânicos conhecidos, encontram-se as algas marinhas. Estas eram usadas como fertilizantes desde os tempos antigos pelos gregos. Os romanos também tinham o costume de utilizá-las como adubo para cobrir as raízes do repolho e os britânicos pré-romanos aplicavam também algas no solo como adubo (SOUSA, 2020). Na Irlanda e na França as algas castanhas eram usadas nos campos agrícolas e na Argentina as algas verdes dispostas na costa no verão também eram utilizadas nos campos (SOUSA, 2020).

Os sargaços são exemplos de fertilizantes orgânicos atualmente comercializados. Estes são um conjunto de macroalgas marinhas que são recolhidos na beira-mar, pois devido às mudanças climáticas e ações antrópicas têm-se demasiada quantidade nos bancos de areia das praias quando se desprendem das rochas devido ao movimento das ondas. Estas macroalgas são armazenadas e utilizadas posteriormente para técnicas de melhoramento do solo como fertilizantes para evitar que o solo perca suas propriedades férteis entre as culturas (SOUSA, 2020).

3.3 Sargaços

As algas são organismos que possuem variadas formas, funções e características de sobrevivência. Sua diversidade abrange algas procariontes (com ausência de membrana ao redor do núcleo e das organelas celulares), como exemplo as cianobactérias e algas eucariontes (presença de membrana ao redor do núcleo e das organelas celulares), tendo como principais representantes os protistas autotróficos, heterotróficos e organismos multicelulares. Contudo, para um maior conhecimento das algas, são necessários avanços ópticos para o desenvolvimento de novas técnicas de estudo desses organismos no microscópio. Nos últimos 30 anos, o aprimoramento de equipamentos de microscopia eletrônica possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas de obtenção de dados sobre diversos tipos de algas (BICUDO et al., 2010).

Estima-se que no Brasil existem 3.497 espécies de algas, dentre elas 1.988 epicontinentais e 1.541 marinhas. Divididas em 829 gêneros e 17 classes de algas, sendo 2 gêneros e 52 espécies naturalmente brasileiras. Pesquisas afirmaram que os conhecimentos das algas das regiões Sul e Sudeste do país são maiores quando comparados às demais regiões. Apesar disso, estudos sobre as algas do Brasil afirmam que no litoral alagoano existem espécies de macroalgas das classes taxonômicas *Rhodophyceae* (28), *Phaeophyceae* (26) e *Ulvophyceae* (21) (BICUDO et al., 2010).

As macroalgas marinhas são majoritariamente encontradas em costões rochosos, manguezais, recifes de corais, bancos de areia, dentre outros locais. Estas macroalgas não possuem tecidos, apenas talos de formatos cilíndricos ou achatados. Devido a pigmentação, são classificadas como *Chlorophyta* (algas verdes), *Rhodophyta* (algas vermelhas) e *Phaeophyceae* (algas castanhas). As algas não diferem apenas na pigmentação, mas também em outros

aspectos como suas características estruturais e bioquímicas, substâncias de reserva, composição e outros (SOUSA, 2020).

Dentro do filo *Phaeophyta*, encontram-se as algas pardas ou feófitas, estas estão em sua maioria nos costões rochosos, podendo ser encontradas no nível das marés e até cerca de 30 metros de profundidade (DIAS et al., 2020). Possuem cerca de 1.500 espécies, presença de clorofila, capacidade de armazenamento de óleos, parede celular rígida com composição de celulose e algina e podem apresentar rizóide, caulóide e filóide. Já as algas verdes, pertencentes ao filo *Chlorophyta*, têm semelhanças com as plantas como a presença de clorofila, reserva de amido nos plastídios, organelas responsáveis pela fotossíntese ou síntese e estocagem de algumas substâncias, e parede celular rígida composta por celulose (DIAS et al., 2020).

Os sargaços são conjuntos formados por diversas macroalgas, majoritariamente pelas algas de coloração castanha, que crescem na região costeira e se espalham devido à ação dos mares. Por serem produtores primários, estas macroalgas auxiliam na diminuição do fenômeno do aquecimento global, pois fixam carbono e reduzem a quantidade de CO₂ presentes na atmosfera (ASSIS et al., 2011). Além de outras funções importantes para o ecossistema, como por exemplo servir de alimento e habitat para outras espécies marinhas como animais invertebrados e comunidades microbianas (OLIVEIRA, 2022; MARTINS et al., 2020).

Assim como desempenham papéis necessários para o ambiente, seu crescimento acelerado devido a alterações climáticas em certos períodos do ano pode causar impactos negativos no setor turístico e representar riscos ao meio ambiente como a contribuição com liberação de gases causadores do efeito estufa, e ainda podem gerar um forte odor que atrai certas pragas (OLIVEIRA, 2022). Somado a isso, o excesso de sargaços nas praias também pode ser responsável pela diminuição da qualidade de vida, ou a morte por asfixia, de espécies como os bivalves (VILLARES et al., 2016).

Devido a estes inconvenientes, as autoridades responsáveis por realizar a gestão das praias sentem a necessidade de fazer a remoção do excesso destas macroalgas. Dependendo do período do ano, são retiradas toneladas de sargaços dos areais e a destinação que é dada para estes resíduos na maioria das vezes envolve a deposição em aterros sanitários ou instalações municipais de lixo sem que estes passem por algum tipo de tratamento (MARTINS et al., 2020). Pensando nos riscos e nos impactos negativos causados ao meio ambiente, à saúde pública e ao setor turístico, alternativas têm sido estudadas para trazer uma melhor destinação e valorização

para estes resíduos. Uma dessas alternativas é a utilização dos sargaços como fertilizantes agrícolas devido aos diversos benefícios, pois estes produzem nutrientes e metabólitos que auxiliam no crescimento e melhor desenvolvimento das plantas (SHARMA et al., 2014).

3.3.1 *Sargassum sp*

Pertencentes ao filo *Phaeophyceae*, as macroalgas do gênero *Sargassum sp* possuem pigmentação castanha e são comumente encontradas em regiões tropicais. Durante determinadas épocas do ano formam extensos bancos ao longo das costas brasileiras. Possuem diversas aplicações: seus polissacarídeos (alginato e carragena) são de interesse das indústrias alimentícia e farmacêutica; usados como bioindicadores de poluição por metais tóxicos, remoção de metais em soluções industriais visto que estas macroalgas possuem propriedades biossorventes; uso para preparação de goma de adesivos; fonte de alimento para herbívoros e também abrigo para diversas espécies marinhas (MAFRA; CUNHA, 2002). A macroalga *Sargassum sp* está representada na Figura 2 a seguir:

Figura 2 – *Sargassum sp*



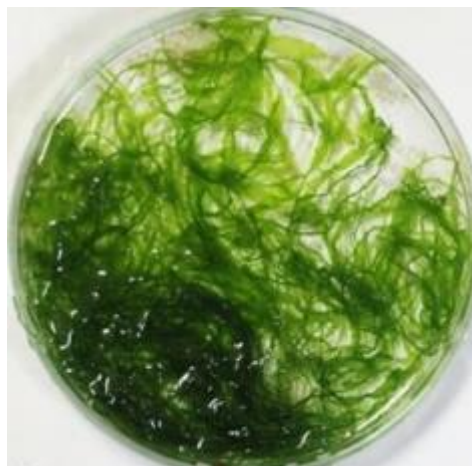
Fonte: HERNANDEZ et al., 2010.

3.3.2 *Ulva compressa*

As algas pertencentes ao gênero *Ulva*, do filo *Chlorophyta*, possuem mais de 50 espécies identificadas até então. Estas são comuns nas áreas estuarinas e sua pigmentação sofre variação do verde claro ou verde escuro. São capazes de se adaptar à salinidade das marés e em sua composição ocorrem carboidratos, ácidos graxos, minerais e aminoácidos, sendo assim ótimas fontes de aplicação em diversas áreas, destacando a biomedicina e a indústria alimentícia, pois possuem diversos macros e micronutrientes, compostos bioativos com ações

antioxidantes, antivirais, anti-inflamatórias e outras (SOUSA, 2020). A Figura 3 a seguir, mostra as macroalgas do tipo *Ulva Compressa*:

Figura 3 – *Ulva Compressa*



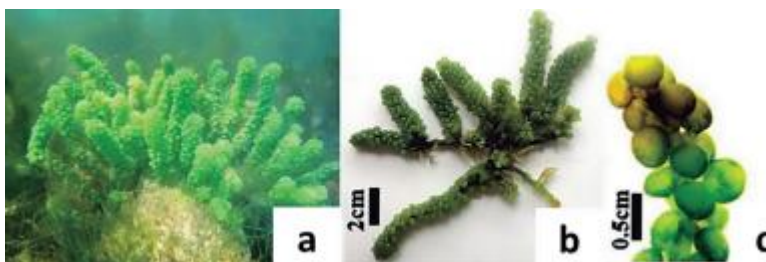
Fonte: SOUSA, 2022.

3.3.3 *Caulerpa racemosa*

A *Caulerpa* é um gênero das macroalgas que pertencem ao filo *Chlorophyta* e são encontradas em ambientes exclusivamente marinhos, distribuídas em regiões tropicais e subtropicais, assim como também em regiões de águas frias. Caracterizam-se pela presença de talos fixados ao substrato por uma massa rizoidal.

Algumas espécies deste gênero se destacam por ser interesse da indústria de fármacos já que são fontes de vitaminas e minerais, assim como também pela presença de bioativos. As *Caulerpas* possuem um alcalóide, chamado caulerpina, que tem grande potencial biológico para atividades antivirais, antioxidantes, antibacterianas e outras (CARNEIRO et al., 2019). A Figura 4 a seguir mostra a macroalga *Caulerpa Racemosa*.

Figura 4 – Macroalgas marinhas (a) *Caulerpa Racemosa* em ambiente natural. b). *Caulerpa* recolhida. c). Detalhe de parte do ramo com globóides.



Fonte: CARNEIRO et al., 2019.

3.4 Nutrição mineral das plantas

As plantas retiram do solo todo o material necessário para a sua sobrevivência por meio das raízes, as quais absorvem os nutrientes e apresentam os primeiros mecanismos de defesa à elementos tóxicos (TELES *et al.*, 2022) Estes nutrientes são espécies químicas importantes para as plantas, pois desempenham funções que garantem a manutenção e o bom desenvolvimento de diferentes culturas. Estes podem ter funções estruturais, constituintes de enzimas ou de ativadores enzimáticos (quando não fazem parte da estrutura). Isto inclui a água usada no processo de fotossíntese e os sais minerais que são utilizados para sintetizar aminoácidos e vitaminas (CUNHA, 2017).

Nas plantas, os minerais são responsáveis pelo funcionamento do metabolismo da célula e podem ser classificados como macronutrientes (primários e secundários) e micronutrientes, onde estes primeiros são essenciais em maior quantidade que os micronutrientes. Existem também os elementos não essenciais, mas que apesar disso podem trazer inúmeros benefícios (BARROS, 2020). A Tabela 1 mostra as funções de cada um deles no sistema solo-planta.

De modo geral, em baixas concentrações, alguns metais são considerados essenciais para o desenvolvimento de organismos vivos, sejam bactérias ou seres humanos. Os metais considerados essenciais são o sódio, potássio, zinco, cobre, cálcio, magnésio e outros. Já os metais potencialmente perigosos ao meio ambiente, microcontaminantes, são elementos como arsênio, cádmio, chumbo, alumínio, mercúrio e outros. Os metais que podem simultaneamente ser essenciais e potencialmente contaminantes são o cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel (AVILA-CAMPOS, 2015).

De acordo com Braga (2005), as quantidades de metais potencialmente tóxicos presentes na natureza não são majoritariamente introduzidas por ações industriais, agrícolas e de mineração. A atividade industrial e o despejo de efluentes domésticos nas águas são os principais causadores da presença de metais em nível traço no meio ambiente. Tais quantidades são responsáveis por contaminar ambientes terrestres e aquáticos e a sua toxicidade é alvo de preocupação e de novos estudos, pois o acúmulo de metais na fauna e na flora pode afetar a cadeia alimentar e causar diversos impactos negativos.

Tabela 1 - Funções dos principais nutrientes para o solo.

Macronutrientes Primários	
N	Participa da formação das proteínas e faz parte de muitas enzimas e vitaminas atuando nas fases de crescimento, floração e frutificação.
P	Atua na respiração e na divisão celular, facilita a floração, aumenta a frutificação e antecipa a maturação que aumenta a resistência das plantas às doenças.
K	Auxilia na fabricação de açúcares e amido. Aumenta a rigidez dos tecidos e a resistência da planta a doenças e pragas.
Macronutrientes Secundários	
Mg	Faz parte da molécula de clorofila e é ativador de muitas enzimas.
Micronutrientes	
Cu	Ativador ou componente de algumas enzimas.
Fe	Necessário para sintetizar clorofila.
Mn	Ativador de enzimas, importante para a membrana do cloroplasto e para a liberação de oxigênio na fotossíntese.
Zn	Ativador ou componente de algumas enzimas.
Co	Fixação de N ₂
Ni	Síntese de compostos químicos que as plantas produzem para se defender de patógenos.

Fonte: (BARROS, 2020; CUNHA, 2017; FABIANO *et al*, 2015; HU, X, 2021).

Como alternativa para minimizar estes impactos, são realizados estudos nas áreas de biorremediação, adsorção e outros processos capazes de diminuir a quantidade desses metais no meio ambiente. A biomassa de *Sargassum sp.* foi alvo de estudos para a biossorção de Cromo (III), compostos orgânicos e como adsorvente natural no controle de poluição por cobre em meio aquoso (COSSICH, 2000; MOREIRA, 2007; VEIMROBER JÚNIOR, 2010).

De acordo com MARTINS et al (2020), os fertilizantes químicos causam problemas ambientais e econômicos, sendo necessário a realização de pesquisas na área dos fertilizantes orgânicos derivados de produtos naturais. Uma pesquisa realizada por VILLARES et al (2016) procurou verificar o potencial como fertilizantes de algumas espécies de sargaço e demonstrou que estas possuíam muitos nutrientes essenciais às plantas e um bom potencial como fertilizante. Outro estudo, feito por SOUSA (2020) concluiu que extratos líquidos de sargaço provaram ser eficientes durante a germinação de sementes de feijão e couve e que as algas são alternativas promissoras em estudos para a biotecnologia.

3.5 Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)

Para analisar a presença de elementos essenciais, não essenciais e tóxicos em amostras de macroalgas marinhas pode-se utilizar diversas técnicas analíticas. Dentre estas, encontra-se a espectrometria atômica que consiste em uma amostra ser transformada em átomos no seu estado fundamental em uma chama, forno ou plasma (gás em temperatura alta que produz átomos e emite radiação em comprimentos de ondas característicos de cada elemento). A ICP-OES é uma técnica analítica multielementar para análise de traços em matrizes ambientais da ordem de detecção em ppm (partes por milhão) ou ppb (partes por bilhão). Para iniciar uma análise de espectrometria óptica primeiramente é necessário o preparo da amostra por diferentes métodos de digestão úmida em bloco digestor, por micro-ondas e ultrassom, a fim de decompor a matriz orgânica e/ou extrair os analitos de interesse (FAUSTINO, 2015).

Portanto, esta técnica analítica é empregada para determinação multielementar em diferentes matrizes de alimentos, fármacos e ambientais.

4. METODOLOGIA

As amostras dos sargaços foram coletadas nas praias de Pajuçara e Ipioca, em Maceió/AL no mesmo período.

O preparo das amostras para avaliação do procedimento de determinação do teor de cinzas e para análise multielementar foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Alimentos – LTBA, do Centro de Tecnologia (CTEC) da UFAL e no Laboratório de Química Analítica da UFBA, respectivamente.

4.1 Materiais e reagentes

Os reagentes empregados na determinação elementar foram o HNO_3 65 % m m⁻¹, H_2O_2 30% m m⁻¹ e a água ultrapurificada a 18,2 MΩ cm. Todos os materiais usados foram descontaminados em banho de HNO_3 10 % (v v⁻¹), por no mínimo 24 h, enxaguados com água ultrapurificada e secos à temperatura ambiente.

Para desidratação das amostras e análises do teor de cinzas foi empregada uma estufa FANEM 515 Orion e uma mufla, respectivamente. No preparo de amostras para análise multielementar foi utilizado um forno de micro-ondas (marca CEM, Mars 6) e as condições operacionais mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de operação do forno micro-ondas.

Parâmetro	Valor
Temperatura	160 °C
Tempo	20 min
Potência	1030-1800 W
Tempo de rampa	20-25 min

Na análise multielementar, foi empregado um espectrômetro de emissão óptica por plasma indutivamente acoplado (modelo 720 series da Agilent Technologies) com as seguintes condições operacionais do instrumento mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Condições de análise do ICP OES.

Parâmetro	Valor
Potência RF	1.200W
Vazão do gás do plasma	15L/min

Vazão do gás auxiliar	1,5L/min
Vazão do gás de nebulização	0,75L/min

4.2 Amostras

A primeira coleta foi realizada dia 25 de setembro de 2023 na praia de Pajuçara, localizada na zona urbana de Maceió/AL e no dia 26 de setembro de 2023 na praia de Ipioca, localizada em zona mais afastada e, portanto, menos urbanizada. A segunda coleta foi realizada no dia 01 de outubro de 2023 para garantir que existiria quantidade suficiente de amostra para todos os experimentos. Ambas amostragens foram realizadas no período da manhã e consistiram da seleção de espécies de macroalgas mais abundantes, como apresentado na Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Amostras das macroalgas coletadas nas praias de Pajuçara. a) *Sargassum* sp. b) *Ulva compressa*. c) *Caulerpa racemosa*.



Fonte: Autoral, 2023.

As amostras foram lavadas em água corrente para retirada de areia, linhas, plásticos e outros materiais que pudessem estar unidos às algas. Em seguida, as algas foram lavadas abundantemente, por três vezes, secas em papel toalha à temperatura ambiente até redução do excesso de água superficial. Este procedimento foi realizado para as amostras coletadas nas duas praias, no primeiro e no segundo dia de coleta. Após a etapa de lavagem, as amostras foram submetidas à uma pré-secagem ao sol devido ao alto teor de umidade. Esta etapa foi necessária para evitar danos à estufa disponível para o processo que seria utilizada na etapa posterior de secagem. As amostras foram deixadas expostas ao sol por 3 dias até redução do

teor de umidade e em seguida foram levadas à estufa a 80°C por 6h. Em seguida, as amostras foram trituradas em processador de alimentos, maceradas em almofariz (Figura 6) e armazenadas em tubos de polipropileno devidamente identificados até análises.

Figura 6 – Macroalga *Sargassum sp* macerada



Fonte: Autoral, 2023.

4.3 Teor de cinzas

A avaliação do teor de cinzas foi realizada em dois procedimentos para as macroalgas do tipo *Sargassum sp* e *Ulva compressa*. No procedimento 1, as análises foram feitas em triplicata e pesados 3g de biomassa de cada macroalga que foram transferidas para os cadinhos, previamente tarados. Em seguida, foram levados para a mufla a uma temperatura de 600°C por 5h, 4 vezes, totalizando 20h para obtenção das cinzas. Ao final de cada rodada na mufla, o conteúdo foi pesado em balança analítica e a massa anotada para avaliação da perda de massa a fim de obter massa constante ou variação de massa menor que ± 0.3 mg (TEMPLETON, 2005).

No procedimento 2, as análises também foram realizadas em triplicata e seguindo as mesmas etapas anteriores, porém com massa de 1g de biomassa para os dois tipos de macroalgas por 20h.

O cálculo do teor de cinzas foi realizado conforme a Equação 1 a seguir:

$$(\%) \text{ Teor de cinzas} = \frac{(\text{massa final} - \text{massa do cadinho})}{(\text{massa da amostra})} * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

4.4 Preparo das amostras para determinação multielementar

Para o preparo das amostras, primeiramente pesou-se 0,2g de cada amostra e em seguida foram adicionados 3mL de HNO_3 concentrado. A solução foi levada para pré-digestão durante um período de 30 min e posteriormente foi aquecida em um forno micro-ondas programado para uma temperatura de 160°C , com rampa de temperatura de 20-25min, onde permaneceu por 20 minutos a uma potência de 1030-1800w, indicada no equipamento.

Após o resfriamento, foram adicionados 2mL de H_2O_2 e a solução foi novamente levada para aquecimento em micro-ondas. Após resfriamento, os tubos de teflon foram abertos e a solução foi transferida para tubo Falcon de 15 mL, avolumando com água ultrapura para a determinação multielementar por ICP-OES.

4.5 Tratamento estatístico dos dados

Com o objetivo de verificar as diferenças entre os resultados obtidos pelos métodos de determinação de cinzas para as diferentes macroalgas, foi aplicado o teste t, conforme descrito por Skoog, West e Holler (2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão avaliados inicialmente pelo teor de cinzas nas macroalgas *Sargassum sp* e *Ulva compressa*, cuja determinação consistiu no estudo de dois procedimentos distintos de calcinação em forno mufla. Em seguida, serão apresentados e discutidos os dados referentes à análise multielementar por ICP-OES a fim de avaliar a potencialidade das macroalgas estudadas como fontes de nutrientes inorgânicos para as plantas.

5.1 Teor de cinzas

O teor de cinzas está relacionado a determinação do resíduo inorgânico, ou resíduo mineral fixo (sódio, potássio, magnésio, cálcio, ferro, fósforo, cobre, cloreto, alumínio, zinco, manganês e outros compostos minerais) que resulta da calcinação de matéria orgânica em forno mufla em altas temperaturas (500-600°C) (ZAMBIAZI, 2010). A determinação do teor de cinzas nas amostras coletadas nas praias da Pajuçara e Ipioca foi avaliada por dois procedimentos e os resultados estão expressos como mostra a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Teor de cinzas ($\bar{X} \pm s$)% determinado por procedimentos distintos de calcinação

Macroalga	Ponto de coleta	Teor de cinzas		t _{calculado}
		Procedimento	Procedimento	
		1*	2**	
<i>Sargassum sp</i>	Pajuçara	30,12 ± 0,32	29,8 ± 0,90	0,50
	Ipioca	24,34 ± 0,92	24,61 ± 0,24	-0,43
<i>Ulva compressa</i>	Pajuçara	35,03 ± 3,17	34,88 ± 2,31	0,11
	Ipioca	39,93 ± 1,15	39,04 ± 2,05	0,86

*3 g de amostra a 600°C por 24h

t_{calculado} < t_{crítico}

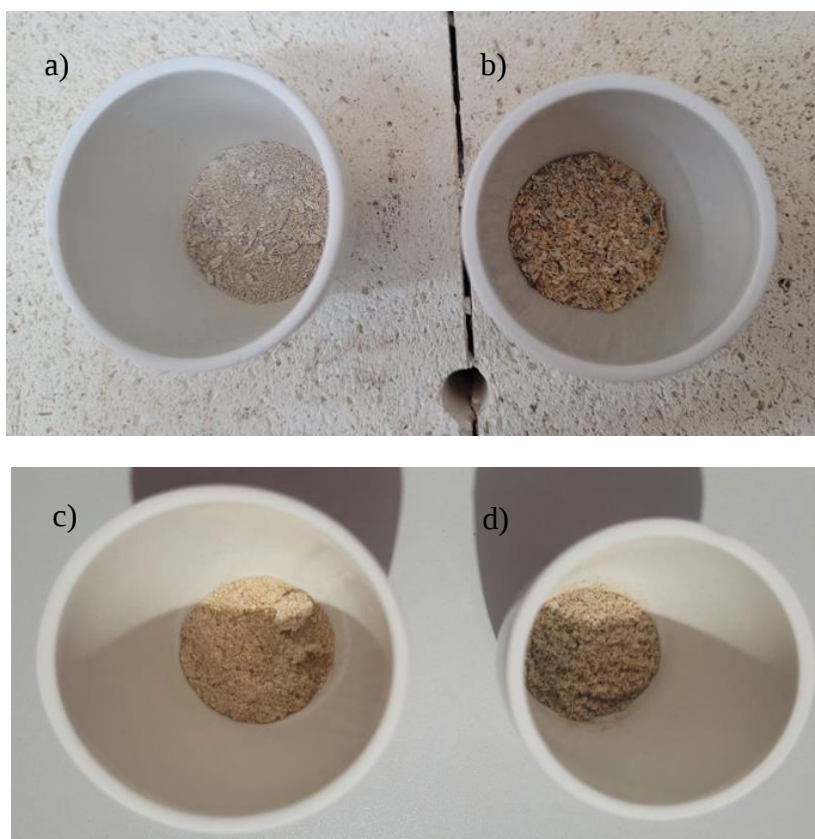
**1 g de amostra a 600°C por 20h

O teor de cinzas obtido por ambos os procedimentos não apresenta diferenças significativas a 95% de confiança, pois o t_{calculado} < t_{crítico} (4,30). Embora os procedimentos consistam de massas diferentes no processo de obtenção das cinzas, o uso de quantidades de apenas 1 g é promissor para estudos de análise elementar em macroalgas, pois estas apresentaram-se ricas em compostos inorgânicos. Rohani-ohani-ghadikolaei *et al.* (2011)

apontaram que as algas marinhas apresentam maior teor de minerais quando comparadas às plantas terrestres e aos próprios vegetais.

A Figura 7 mostra as cinzas obtidas para as macroalgas de *Sargassum sp* e *Ulva compressa* por ambos os procedimentos. Ao adotar a metodologia de obtenção de cinzas até massa constante (TEMPLETON, 2005), foi observado que mesmo após 24 h de calcinação havia variação de massa (maiores do que $\pm 0,3$ mg). Como teste de solubilidade das cinzas, após adicionado ácido nítrico diretamente nos cadinhos, houve a formação de uma suspensão. Este resultado pode indicar a presença de matéria orgânica e/ou de compostos de silício não solúveis em HNO_3 .

Figura 7 – Cinzas de macroalgas após calcinação por 24 h a 600°C a) *Sargassum sp*. b) *Ulva Compressa* após calcinação por 4 h a 600°C. c) *Sargassum sp*. d) *Ulva Compressa*



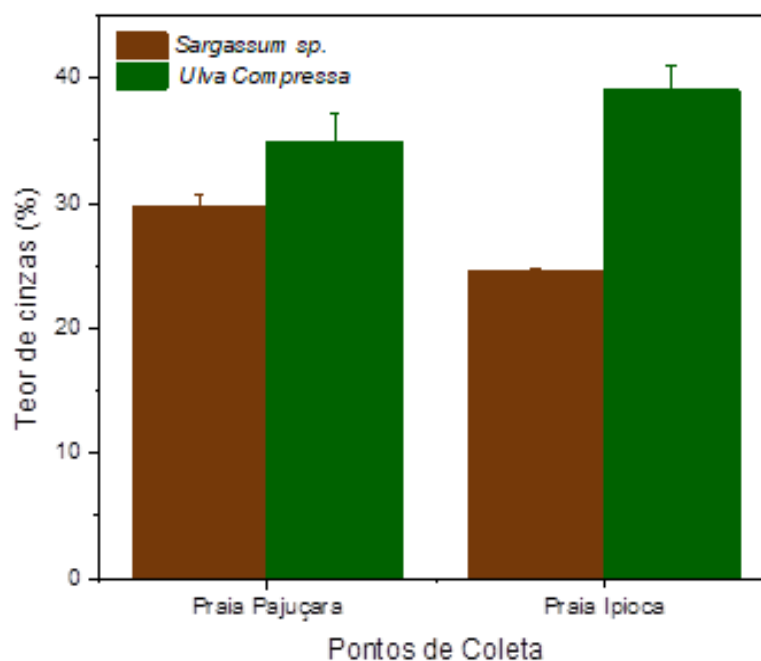
Fonte: Autoral, 2023.

De acordo com Cavalcante (2012), algumas espécies de algas marinhas de água doce ou salgada tem como principal característica morfológica a presença de parede celular impregnada de sílica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) recoberta por uma camada fina de matéria orgânica. A parede celular tem como principal função evitar o rompimento da membrana plasmática das células, garantindo que estas tenham elasticidade e resistência a tensões físicas e químicas. As tensões térmicas são representadas pelo estado de tensão causado por variações de temperatura (SCHEID, 2010).

A presença de Si na parede celular das macroalgas pode ser um indicativo da variação na porcentagem do teor de cinzas, pois podem formar compostos de difícil calcinação, sendo necessárias metodologias de abertura das amostras, como, por exemplo, fusão em alta temperatura e solubilização do tecido vegetal com ácido fluorídrico (SAIHUA *et al.*, 2018). Paraguay-Delgado *et al.* (2020) concluíram que alguns compostos inorgânicos presentes nas amostras de *Sargassum* representaram de 7 a 10% da estrutura da espécie e estes compostos provavelmente seriam a dolomita ou a sílica (SiO_2).

Os resultados apresentados na Figura 8 mostram o teor de cinzas encontrados nas macroalgas do tipo *Sargassum sp* e *Ulva Compressa* após procedimento realizado em laboratório com massa de 1g a uma temperatura de 600°C por 20h.

Figura 8 – Teor de cinzas em macroalgas *Sargassum sp* e *Ulva compressa* coletadas nas praias de Ipioca e Pajuçara



Fonte: Autoral, 2024.

As algas do tipo *Ulva Compressa* apresentaram valores mais elevados de cinzas (32,6-40,9%) do que as algas *Sargassum sp* (24,3-30,8%). Estes resultados estão de acordo com os descritos para os mesmos gêneros nos estudos de Pádua *et al.* (2004) com 31,12% de cinzas e Peng *et al.* (2013) com 35,18% de cinzas, comprovando que existem variações na composição química das algas marinhas que podem ser associadas ao ambiente em que vivem e às diferenças genéticas existentes entre esses organismos.

A Tabela 5 a seguir faz um comparativo sobre o teor de cinzas nas diferentes espécies de algas castanhas e algas verdes relatadas em diferentes estudos.

Tabela 5 – Teor de Cinzas em diferentes espécies de macroalgas marinhas

Macroalgas	Cinzas (%)	Temp. (°C)	Referência
<i>S. horneri</i>	33.3	550	Murakami <i>et al.</i> (2011)
<i>S. naozhouense</i>	35.2	-	Peng et al. (2013)
<i>S. subrepandum</i>	29.5	550	Abou-El-Wafa <i>et al.</i> (2011)
<i>Ulvaria oxysperma</i>	31.22	600	Pádua <i>et al.</i> (2004)
<i>Sargassum sp.</i>	27.2	600	Presente estudo
<i>Ulva compressa</i>	36.96	600	Presente estudo

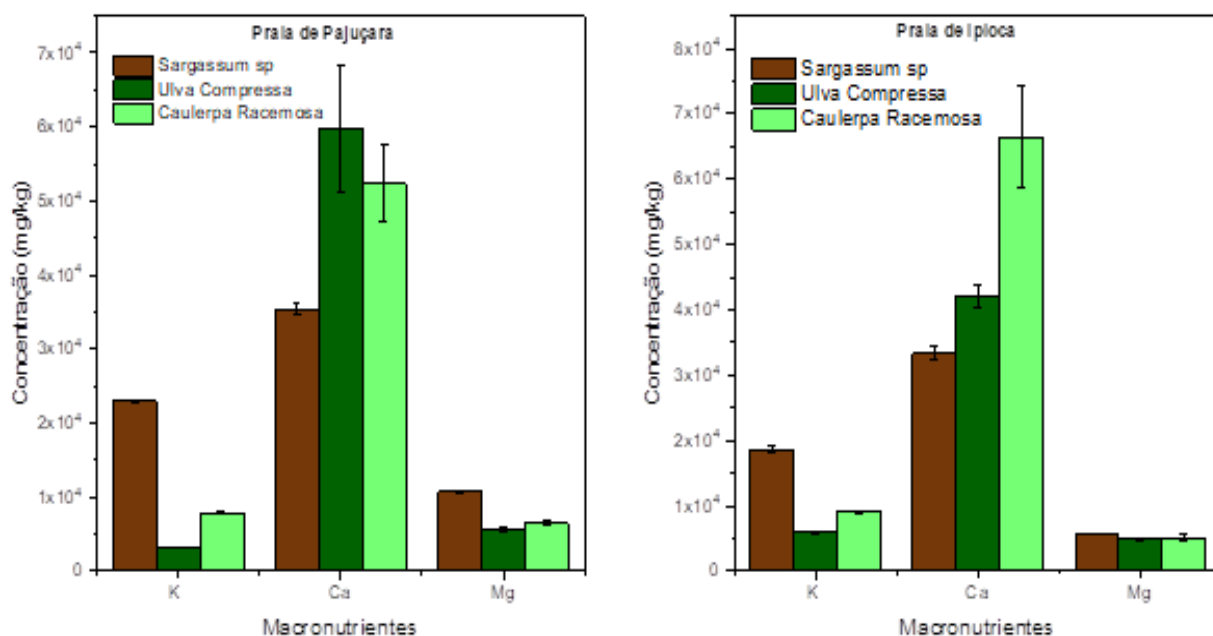
5.2 Determinação multielementar

As concentrações de macronutrientes, micronutrientes, elementos não essenciais e de elementos tóxicos são apresentadas com seus respectivos desvios padrões relativos (DPR) na Tabela 1 do Apêndice 1. A maioria dos DPR foram inferiores a 10%. A seguir serão avaliadas as concentrações para os diferentes elementos determinados nas distintas macroalgas.

5.2.1 Macronutrientes

As concentrações dos macronutrientes (mg/kg) Ca, K e Mg são apresentadas na Figura 9 para as três espécies de macroalgas marinhas que foram coletadas nas praias de Pajuçara e Ipioca (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*).

Figura 9 – Concentração dos macronutrientes K, Ca e Mg em amostras de macroalgas marinhas coletadas a) praia de Pajuçara. B) praia de Ipioca.



Fonte: Autoral, 2024.

O potássio (K) é considerado um macronutriente primário e foi encontrado em maiores concentrações, próximas à 2×10^4 mg/kg na espécie *Sargassum sp* para as duas praias analisadas. Kano et al. (2010) em seus estudos consideram que o K é um dos elementos mais extraídos pelas plantas e a ausência ou falta deste elemento essencial pode resultar na diminuição do crescimento da planta. Em quantidades adequadas, este nutriente desempenha várias funções como exemplo do controle da turgidez celular, ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, regulação dos processos de abertura e fechamento de estômatos e outros.

O Ca e o Mg são considerados macronutrientes secundários para as plantas. O cálcio apresentou-se maior concentração na *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa* nas amostras coletadas na praia de Pajuçara e na espécie *Caulerpa racemosa* da praia de Ipioca. De acordo com Dias (2000), o Ca atua na constituição das paredes celulares, neutralizando ácidos orgânicos e no desenvolvimento do sistema radicular, além de melhorar a resistência de frutos e grãos. Enquanto o Mg é um dos principais componentes na clorofila das folhas, e isso tem

importância no processo fotossintético e metabólico da planta (BERKENBROCK, 2021). Logo, o desenvolvimento das plantas é prejudicado e a produção final é reduzida quando ocorre a falta do nutriente Mg.

O Mg foi encontrado nas três macroalgas estudadas para os dois pontos de coleta e nas amostras da praia de Pajuçara o *Sargassum sp* destacou-se com concentração próxima a 1×10^4 mg/kg.

De modo geral, as macroalgas *Sargassum sp* seguida da *Caulerpa racemosa* apresentaram as maiores concentrações de K e Mg, enquanto a *Caulerpa racemosa* e *Ulva compressa* apresentaram maiores concentrações de Ca. Estes dados podem contribuir na produção de fertilizantes a partir das macroalgas como fontes de macronutrientes.

5.2.2 Micronutrientes

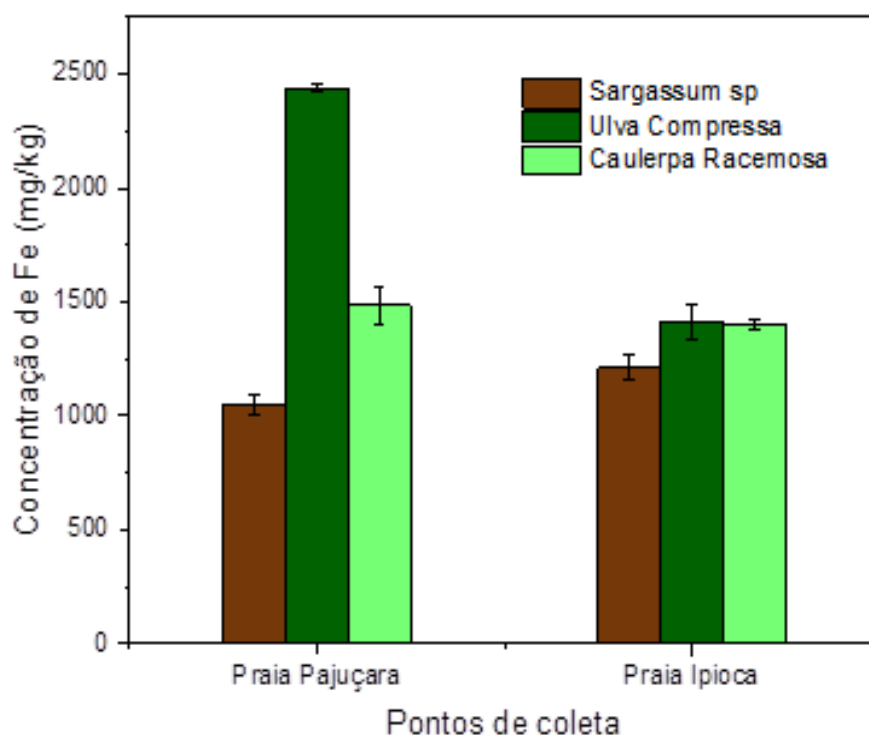
As concentrações de Fe encontradas nos três tipos de macroalgas analisadas estão mostradas na Figura 10. De acordo com os resultados, pode-se observar que a macroalga da espécie *Ulva compressa* apresentou maiores concentrações de Fe para os dois pontos de coleta, porém com destaque para a coleta feita na praia de Pajuçara que alcançou concentrações próximas a 2500 mg/kg de Fe.

O ferro faz parte dos micronutrientes essenciais para o bom desenvolvimento das plantas e atua em processos como a fotossíntese, respiração e síntese de DNA, porém em altas concentrações pode ser tóxico e causar amarelecimento e bronzeamento das folhas das plantas (CHATTERJEE; GOPAL; DUBE, 2006; SIQUEIRA-SILVA et al., 2012; JUCOSKI, 2016). Somado a isso, excesso de Fe pode ser resultado de alterações nutricionais nas plantas causando o empobrecimento de alguns nutrientes essenciais como P, Ca, K, Mg e Zn (AUDEBERT; FOFANA, 2009; JUCOSKI, 2016).

Jucoski (2016) concluiu em seus estudos que plantas jovens que são submetidas à quantidades excessivas de Fe demonstraram características externas advindas de toxidez por Fe, caracterizada por bronzeamento das folhas e escurecimento das raízes.

Apesar disso, existem pesquisas com a espécie *Sargassum sp* como o estudo feito por Moreiral et al. 2007 sobre o processo de bioissorção do ferro presente em óleo lubrificante usado pelo *Sargassum sp* que concluiu que cinética de bioissorção do Ferro pelo *Sargassum sp* é relativamente rápida e tem seu tempo de contato de 10 horas suficiente para atingir o equilíbrio. Ou seja, mostrando que as características das macroalgas de acumular Fe, nesse estudo em especial *Sargassum sp*, podem ser alternativas para a remoção de ferro de algumas matrizes.

Figura 10 – Concentração de Fe nas macroalgas marinhas coletadas nas praias de Pajuçara e Ipioca

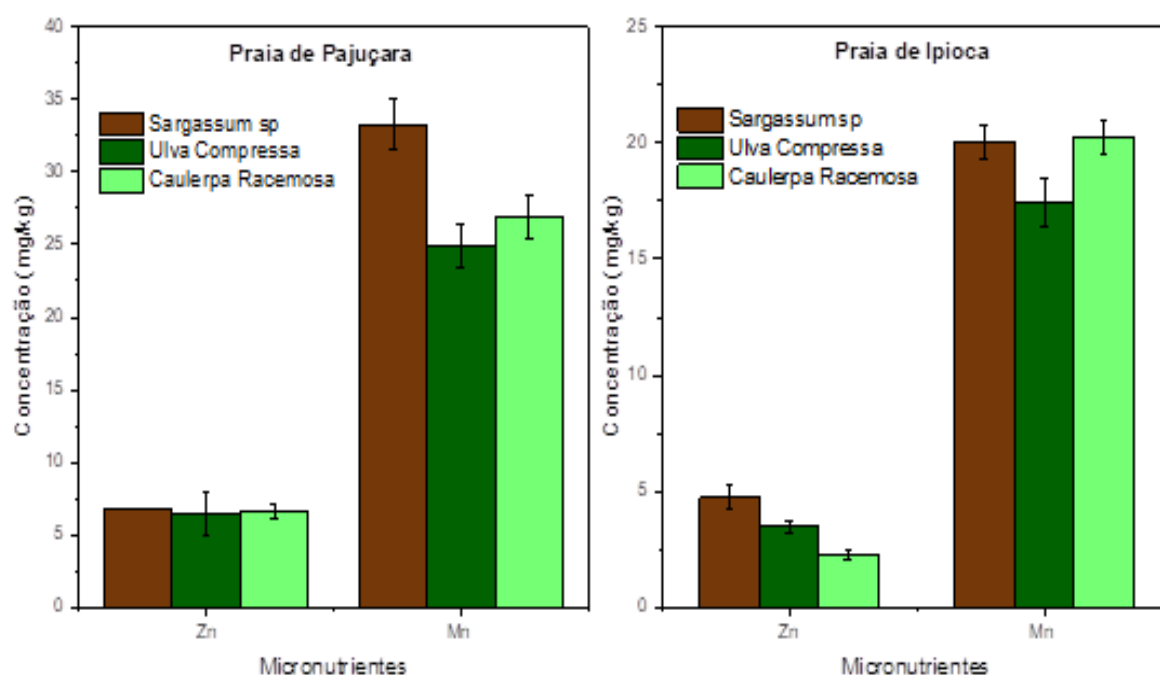


Fonte: Autoral, 2024.

Pode-se observar através da Figura 11. a. a seguir que as concentrações de Zn foram próximas para as três macroalgas coletadas na praia de Pajuçara, com média de 6,61 mg/kg de Zn e na Figura 11. b. para as macroalgas coletadas em Ipioca, a espécie que apresentou maior quantidade do micronutriente foi o *Sargassum sp* com concentração próxima a 4,7 mg/kg.

As concentrações de manganês nas amostras da praia de Pajuçara sugerem que a espécie com maior quantidade desse micronutriente é o *Sargassum sp*, enquanto nas amostras coletadas em Ipioca as espécies *Sargassum sp* e *Caulerpa racemosa* apresentam concentrações próximas à 20 mg/kg.

Figura 11 - Concentração de micronutrientes Zn e Mn nas macroalgas marinhas. a) praia de Pajuçara. b) da praia de Ipioca.



Fonte: Autoral, 2024.

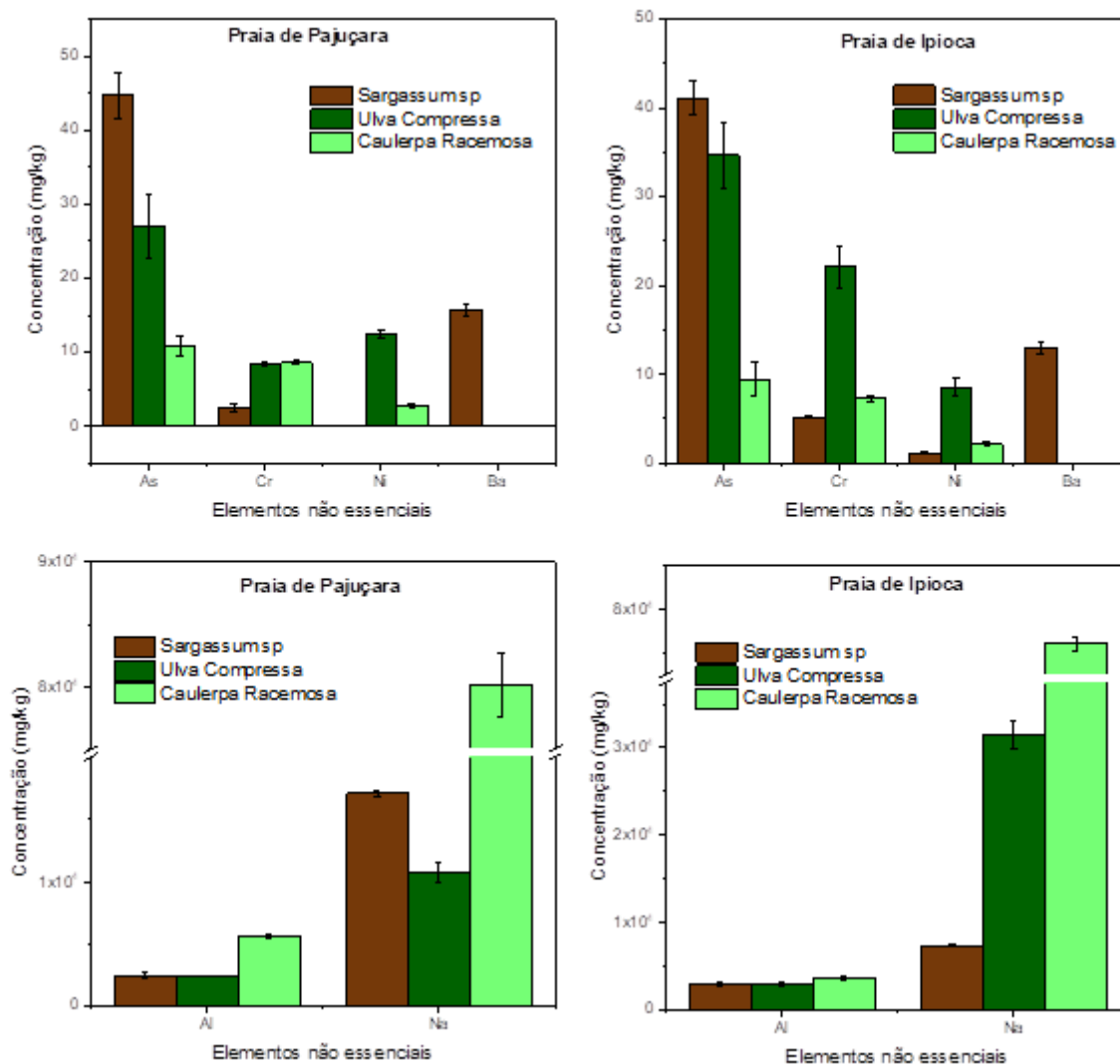
As diferenças nas concentrações entre as mesmas espécies, porém coletadas em locais distintos pode ser explicada por Alves e Maihara (2013) que estudaram os elementos essenciais em algas marinhas e concluíram que estas apresentam as concentrações dos elementos essenciais de acordo com a sua região de origem, causada pela diferença de habitat e condições ambientais nas quais são submetidas.

Portanto, as macroalgas marinhas estudadas podem ser boas fontes dos micronutrientes Fe, Zn e Mn, visto que estas apresentam concentrações significativas destes elementos.

5.2.3 Elementos não essenciais

As concentrações dos elementos não essenciais às plantas em mg/kg são apresentadas na Figura 12 a seguir para as três espécies de macroalgas marinhas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) coletadas nas praias de Pajuçara e Ipioca

Figura 12 - Concentração de elementos não essenciais As, Cr, Ni e Ba em amostras de macroalgas marinhas. a) praia de Pajuçara. b) praia de Ipioca. c. Concentração de Al e Na nas macroalgas da praia de Pajuçara. d. Concentração de Al e Na nas macroalgas da praia de Ipioca.



Fonte: Autoral, 2024.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 12 a seguir, as três macroalgas estudadas contêm quantidades significativas de sódio, com destaque para a *Caulerpa racemosa* apresentando concentrações altíssimas para as duas praias estudadas, resultado que pode ter sofrido influência da salinidade do meio aquático.

O As, elemento potencialmente tóxico, foi detectado nas amostras das três macroalgas estudadas, com maior concentração encontrada na macroalga *Sargassum sp* também para as duas praias. Estes resultados corroboram com o estudo de Rose *et al.* (2007) de que as macroalgas geralmente tendem a apresentar maiores concentrações de As quando comparadas

às plantas terrestres, visto que este composto possui maior concentração em médias profundidades nas águas oceânicas (MILLERO, 2013; SILVA, 2018). Assim como outros compostos como Cd e Pb, o As possui efeito perigoso para a saúde humana quando absorvido pelo homem por meio dos alimentos e água (CHAVES, 2012).

Por este motivo, algumas espécies de algas marinhas têm sido estudadas para serem utilizadas como bioSORVENTES devido à sua capacidade de realizar o processo de bioacumulação, ou seja, acúmulo de poluentes no interior das células vivas (COSSICH, 2000). Prado (2008) estudou o processo de remoção de As e óleo contidos em um efluente e concluiu que entre os materiais testados, os que obtiveram maiores valores de captação de As foram o *Sargassum sp.* (6,32 mg/g), o pó da casca de coco (6,10 mg/g) e o xisto retornado (4,39 mg/g).

O Cr mostrou-se presente em maior quantidade na *Caulerpa racemosa* para a praia de Pajuçara e na *Ulva compressa* para a praia de Ipioca. Como alternativa para remoção de Cr como contaminante, Cossich (2000) utilizou o *Sargassum sp* como bioSORVENTE para remover cromo de efluentes industriais e alcançou resultados positivos com relação à cinética da bioSORÇÃO do Cr através do *Sargassum sp.*

O elemento Ba foi encontrado em quantidades significativas apenas nas amostras de *Sargassum sp* das duas praias coletadas. Por ser também um elemento não essencial às macroalgas, a presença do bário pode ser um indicativo do descarte irregular de efluentes com concentração de bário nas águas do mar.

O Ni na praia de Pajuçara foi detectado nas amostras de *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa* e nas três macroalgas para a praia de Ipioca e existem estudos como o de Seollato (2008) utilizando macroalga do gênero *Sargassum* para dessorção de metais como Ni, Zn e Cr.

O Al apresentou maior concentração na macroalga *Caulerpa racemosa* para as duas praias, contudo foi encontrado nas três espécies estudadas e também pode ser um indicativo de contaminação das águas das praias de Pajuçara e Ipioca nas quais foram coletadas as amostras de macroalgas.

Os resultados mostrados na Figura 12 colaboram com a ideia de que as três espécies de macroalgas marinhas estudadas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) podem ser utilizadas para retenção de diversos tipos de contaminantes e a escolha da espécie será influenciada a depender de qual substância deseja-se remover utilizando processos como por exemplo a bioSORÇÃO. A espécie *Sargassum sp.* pode ser considerada acumuladora de As e Ba, dois elementos indesejáveis na produção de fertilizantes.

5.3 Potencialidade das macroalgas como fertilizante

A Tabela 6 a seguir mostra o teor de nutrientes contidos em alguns tipos de fertilizantes inorgânicos utilizados na agricultura e no presente estudo.

Tabela 6 – Teor de nutrientes dos fertilizantes inorgânicos.

Fertilizante	Fórmula	Teor (%)	Tipo de fertilizante	
Cloreto de potássio	KCl	60	Potássicos	
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	50 (K ₂ O) 18 (S)	Potássicos	
Cloreto de cálcio bi-hidratado	CaCl ₂ .2H ₂ O	27	Cálcicos	
Sulfato de cálcio	CaSO ₄ .2H ₂ O	18 (Ca) 16 (S)	Cálcicos	
Nitrato de magnésio	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	9 (Mg) 11(N)	Magnesianos	
Sulfato de magnésio	Mg(SO ₄) ₂ .7H ₂ O	9,5 (Mg) 12 (S)	Magnesianos	
Nitrato de sódio	NaNO ₃	16	Nitrogenados	
Nitrato de cálcio	Ca(NO ₃) ₂	15 (N) 20 (Ca)	Nitrogenados	
Fosfito de potássio	KH ₂ PO ₃	58 (P ₂ O ₅) 38 (K ₂ O)	Fosfo-potássicos	
Sulfato ferroso	FeSO ₄ .7H ₂ O	19 (Fe) 10 (S)	Micronutrientes	
Óxido de zinco	ZnO	65 a 80 (Zn)	Micronutrientes	
Sulfato de manganês	MnSO ₄ .4H ₂ O	25 (Mn) 14 (S)	Micronutrientes	
Potássio	K	3	Macronutriente	Neste estudo
Cálcio	Ca	6,7	Macronutriente	Neste estudo
Magnésio	Mg	1,1	Macronutriente	Neste estudo
Ferro	Fe	0,25	Micronutriente	Neste estudo
Manganês	Mn	0,0033	Micronutriente	Neste estudo
Zinco	Zn	0,0007	Micronutriente	Neste estudo

Fonte: Adaptado de TRANI (2011)

De acordo com Su et al. 2012, a formulação ou composição do meio de cultura na qual estão inseridas é essencial para a planta, pois tem quantidade de nutrientes concentrada para o seu desenvolvimento e este pode ser feito com combinações de composições diferentes variando com as necessidades para cada espécie. Assim, existem diversos tipos de fertilizantes comerciais utilizados atualmente: nitrogenados, fosfatados, cálcicos, fosfo-potássicos, entre outros.

Através da Tabela 6 pode-se observar que as macroalgas estudadas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) podem ser uma alternativa para utilização como fertilizantes, pois possuem em sua composição os nutrientes necessários para a melhoria da nutrição das plantas.

Como fonte de K, um macronutriente primário, a macroalga *Sargassum sp* seria uma boa fonte desse nutriente visto que esta mostrou ter concentração média de 2×10^4 mg/kg de K. Assim, auxiliaria a planta na manutenção da sua resistência em situações de estresse, seca e alterações bruscas de temperatura.

As macroalgas *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa* possuem concentrações altíssimas de cálcio e seriam boas fontes de nutrientes para as plantas com relação a este macronutriente secundário que garante a estabilidade da estrutura da planta e dos seus tecidos.

Como fonte de ferro, as três espécies de macroalgas coletadas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) mostraram ter concentrações do micronutriente. Em especial, a *Ulva compressa* que aparentemente, entre as três espécies, é a maior acumuladora de Fe.

As três espécies de macroalgas mostraram ser fontes de Mg (macronutriente secundário), Zn e Mn (micronutrientes). Contudo, apesar da boa composição em relação aos nutrientes necessários para as plantas, foi observado a presença de metais tóxicos nestas macroalgas, o que sugere que para próximos estudos, as macroalgas devem ser coletadas em regiões não contaminadas.

Elementos como As, Cr e Ni são considerados contaminantes para o solo e de acordo com Vale e Alcarde (1999), teores elevados de contaminantes com o passar do tempo podem se tornar grandes poluidores dos solos e posteriormente afetar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas. Além disso, podem comprometer toda uma cadeia alimentar.

Por este motivo, para que estas amostras de macroalgas coletadas nas praias de Pajuçara e Ipioca pudessem ser utilizadas como fertilizantes orgânicos, não deveriam ter a presença de contaminantes para a garantia das boas condições de produtividade do solo.

Novas coletas em praias ainda mais afastadas da urbanização e com ausência de despejo de efluentes domésticos e industriais podem ser uma alternativa para novos estudos com relação

às macroalgas, visto que as composições das espécies estudadas são fontes promissoras de nutrientes. Contudo, necessita-se que as amostras a serem utilizadas como fertilizantes orgânicos estejam livres de contaminação por substâncias como As, Cr, Ni e outros, evitando assim a contaminação do solo e, conseqüentemente, dos alimentos.

6. CONCLUSÃO

O estudo realizado para as diferentes espécies de macroalgas marinhas (*Sargassum sp*, *Ulva compressa* e *Caulerpa racemosa*) coletadas nas duas praias do litoral alagoano, Pajuçara e Ipioca, demonstrou que a metodologia aplicada para determinação do teor de cinzas é suficiente para alcançar resultados positivos quanto ao objetivo do trabalho. O teor de cinzas das macroalgas coletadas mostrou que as espécies *Sargassum sp* e *Ulva compressa* possuem teor elevado de conteúdo inorgânico visto os resultados que foram apresentados no presente estudo. Somado a isso, há possível presença de compostos com sílica que são oriundos da parede celular das macroalgas e protegem suas membranas plasmáticas a fim de evitar o seu rompimento que podem ser responsáveis pela formação de compostos de difícil calcinação. Estes compostos demandam a utilização de outras metodologias para obtenção das cinzas e por este motivo, a presença pode ter contribuído para os altos valores encontrados.

A análise multielementar realizada utilizando espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) foi capaz de determinar a concentração dos macronutrientes e micronutrientes presentes nas macroalgas coletadas (K, Ca, Co, Mg, Fe, Mn, Ni e Zn), assim como os contaminantes (As, Cd, Cr, Ba, Al, Pb, Se, Na e V) encontrados nas amostras coletadas que sugerem a contaminação das águas das duas praias estudadas, Pajuçara e Ipioca, por compostos que apresentam toxicidade e prejudicam o meio ambiente, os seres vivos e a cadeia alimentar.

As três espécies de macroalgas analisadas mostraram através das concentrações encontradas que podem ser fontes promissoras de nutrientes inorgânicos para as plantas e boas alternativas como fertilizantes inorgânicos, pois contam com a presença dos macronutrientes e micronutrientes necessários para o desenvolvimento do cultivo e também para o auxílio da nutrição do solo. Contudo, as amostras coletadas também apresentaram concentrações altas de contaminantes como As, Cr e Ni que são prejudiciais às plantas e consequentemente ao solo, sugerindo que em próximos estudos as coletas sejam realizadas em praias mais afastadas da urbanização e da presença de lançamento clandestino de efluentes.

REFERÊNCIAS

- ABOU-EL-WAFA, G. S., SHAABAN, K. A., EL-NAGGAR, M. E., & SHAABAN. A. Bioactive constituents and biochemical composition of the Egyptian brown alga *Sargassum subrepandum* (Forsk). **Rev Latinoam química**. 2011; 39(1-2): 62-74.
- ALVES, CASSIO BL et al. **Determinação de elementos essenciais em algas marinhas comestíveis por análise por ativação neutrônica**. International Nuclear Atlantic Conference INAC. Recife, Pernambuco. Novembro 24-29, 2013.
- ASSIS, J.; TAVARES J.T., SERRÃO, E.A.; ALBERTO, F.; FERREIRA, C.; TAVARES, D.; PAULO, L.; TEMPERA, F. 2011. **Florestas marinhas. As espécies de algas castanhas gigantes de Portugal**. Centro de Ciências do Mar e Mundo Gobius Comunicação e Ciência, Lda.
- AUDEBERT, A.; FOFANA, M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, p. 66-76, 2009.
- AVILA-CAMPOS, M. J.; NAKANO, V. **Metais pesados: um perigo eminente**. 2003.
- BARROS, J. F. C. **Fertilidade do solo e nutrição das plantas**. Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora. Évora, 2020.
- BERKENBROCK, L.; SOUZA, C. A.; FERNANDES, F. F.; CIGEL, C.; ROSKAMP, G. P. B.; CARDOSO, A. F.; SOUZA, A. Z. **Diferentes fontes e doses de magnésio via adubação foliar na cultura do milho**. 31º Seminário de Iniciação Científica - UDESC, Florianópolis. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Introdução: As algas do Brasil**. In: FORZZA, RC., org., et al. INSTITUTO DE PESQUISAS JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. p. 49-60. Vol. 1. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/z3529/pdf/forzza-9788560035083-06.pdf>>
- BOTELHO, S. M.; VELOSO, C. A. C.; RODRIGUES, J. E. L. F.; FERREIRA, E. V. O. **Fertilizantes Orgânicos**. EMBRAPA, 2020. p. 93-102.

BRAGA, B., HESPANHOL, L.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S., 2005. **Introdução à Engenharia Ambiental**, 2ª ed., Ed. Prentice Hall: São Paulo.

CARNEIRO, V.A.R., Oliveira-Carvalho, M. F., Brito, J. O. F., Lima, F. E. G. Q. & Guedes, E.A.C. 2019. **Ocorrência e distribuição do gênero *Caulerpa* J.V.Lamour. (Bryopsidales - Chlorophyta) no Estado de Alagoas, Nordeste Brasileiro**. Hoehnea 46: e712018. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-71/2018>.

CAVALCANTE, K. **Diátomáceas – as algas douradas**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, 2012. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~veiga/ficologia/diatomaceas.html>>.

CHATTERJEE C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, p. 1-6, 2006.

CHAVES, Q. L. S. G. **Sedimentos e macroalgas como bioindicadores de metais traço em dois trechos do litoral oeste do Ceará-Brasil**. (Dissertação). Departamento de Biologia: Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012.

COLOMBO, A. L. **Avaliação do potencial de uso da cinza de *Sargassum* spp. como adição mineral em compósitos de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado em Ciências, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2022.

COSSICH, E. S.. **Biossorção de cromo (III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum* sp.** Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

CUNHA, L. G. S. **Cenários e desafios da indústria de fertilizantes**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

DIAS, Daphne Alves; DE ABREU, Karla Maria Pedra. Aos leitores. **Coleções biológicas de macroalgas**, IFES–Campus de Alegre, 2020.

DIAS, Gilberto. Granulados bioclásticos: algas calcárias. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, p. 307-318, 2000.

DO BRASIL, GOVERNO. Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes. **Boletim Técnico-n.º**, v. 89, p. 1-46, 2012.

FABIANO, C. C.; TEZOTTO, T.; FAVARIN, J. L.; POLACCO, J. C.; MAZZAFERA, P. (2015). **Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses**. Front. Plant Sci. 6:754. doi: 10.3389/fpls.2015.00754.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Federal de Lavras, Lavras/Faepe, v. 183, 2005.

FAUSTINO, Mainara Generoso. **Desenvolvimento e validação de metodologia para determinação de metais em amostras de água por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma de Argônio (ICPOES)**. (Dissertação). São Paulo, 2015.

HERNANDÉZ, I.; BERMEJO, R.; PÉREZ-LLORÉN, J.L.; VERGARA, J. J. (2010). Contribución al conocimiento de los macrófitos marinos del saco interno y caños adyacentes de la Bahía de Cádiz. ALGAS. **Boletín de la Sociedad Española de Ficología**. 43: 11-16, 7.

HU, X.; WEI, X.; LING, J.; CHEN, J. (2021). **Cobalt: An Essential Micronutrient for Plant Growth?** Front. Plant Sci. 12:768523. doi: 10.3389/fpls.2021.768523

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 720-728, outu-dez, 2016.

KANO, Cristiaini; CARDOSO, Antonio Ismael Inácio; VILLAS BÔAS, Roberto L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 287-291, 2010.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. Lavras, 2007.

MAFRA JR, L. L.; CUNHA, S. R. Bancos de *Sargassum cymosum* (Phaeophyceae) na Enseada de Armação do Itapocoroy, Penha, SC: Biomassa e rendimento em alginato. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 111-119, 2002.

MARTINS, M.; SOARES, C.; PEREIRA, R.; RUBAL, M.; FIDALGO, F. Sargação – Importância ecológica, riscos e potenciais aplicações. **CAPTAR: Ciência e ambiente para todos**, Porto, v. 9, n.1, p.1-8, 2020.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, p. (24-26), nov. 2006.

MILLERO, F. J., 2013. **Chemical oceanography**, Fourth ed. Taylor & Francis Group, Florida – USA.

MOREIRA, Albina da Silva. **Biossorção utilizando alga marinha (sargassum sp.) aplicada em meio orgânico**. Natal: UFRN, 2007. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

MOREIRA, C. G.; DINALI, G. S.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, S. J.; KAPPES, C.; GUILHERME, L. R. G. Elementos terras raras em solo com histórico de altas aplicações de fertilizantes fosfatados. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, 2013.

MURAKAMI, K.; YAMAGUCHI, Y.; NODA, K.; FUJII, T.; SHINOHARA, N., USHIROKAWA, T.; SUGAWA-KATAYAMA, Y.; KATAYAMA, M. (2011) **Seasonal variation in the chemical composition of a marine brown alga**, *Sargassum horneri* (turner) C. Agardh J Food Compos Anal 24(2):231–236. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.004>>

OLIVEIRA, A. **Desenvolvimento de um novo material baseado em sargação**. Dissertação de mestrado em Design Industrial e de Produto. Universidade do Porto, Porto, 2022.

PÁDUA, M.; FONTOURA, P. S. G.; MATHIAS, A. L. Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) Bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 49-55, 2004.

PARAGUAY-DELGADO, Francisco et al. Pelagic *Sargassum* spp. capture CO₂ and produce calcite. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 25794-25800, 2020.

PENG, Y.; XIE, E.; ZHENG, K.; FREDIMOSSES, M.; YANG, X.; ZHOU, X.; WANG, Y.; YANG, B.; LIN, X.; LIU, J.; LIU, Y. (2013). **Nutritional and chemical composition and**

antiviral activity of cultivated seaweed *Sargassum naozhouense*. Tseng et Lu. *Mar Drugs* 11(1):20–32.

PRADO, P. F.; CUNHA; C. D.; LEITE, S. G. F.; OLIVEIRA, F. J.S. **Remoção de óleo e arsênio de efluente industrial utilizando xisto retornado**, Rio de Janeiro: CTEM/MCT, 2008.

REETZ, H. F. Fertilizantes e o seu uso eficiente. **International Fertilizer Industry Association (IFA)**, Paris, 1º ed., 2016.

RESIERE, D. et al. *Sargassum* seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. **The Lancet**, Amsterdam, v. 392, n. 10165, p. 2691, 2018.

ROHANI-GHADIKOLAEI; GHARANJIK. **Atlas of the seaweeds of the Persian Gulf and the Gulf of Oman**. 1º ed. Iranian Fisheries Research organization, Teerão, Irã. pp. 170 (2011).

ROSE, M.; LEWIS, J.; LANGFORD, N.; BAXTER, M.; ORIGGI, S.; BARBER, M.; MACBAIN, H.; THOMAS, K.; 2007. Arsenic in seaweed-forms, concentration and dietary exposure. *Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* 45,1263-1267.

SAIHUA, L.; YUNHE, X.; JI, X.; JUAN, H.; BOCHARNIKOVA, E. A.; MATICHENKOV, V. V. **Microwave digestion for colorimetric determination of total si in plant and mineral samples**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 49, n. 7, p. 840-847, 2018.

SAMBUICHI, Regina Helena Rosa et al. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Texto para Discussão, 2012. Disponível em: </ <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91310/1/730094006.pdf> >

SCHEID, A.; **Análise de falhas**. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010. Disponível em: </ http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME774/Aula%2013_CMa.pdf >

SEOLATTO, Araceli A. **Dessorção de metais da alga marinha *Sargassum filipendula***. 2008. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

SHARMA, H. S.; FLEMING, C.; SELBY, C.; RAO, J.; MARTIN, T. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. **Journal of Applied Phycology**, 26(1), 465-490, 2014.

SHARMA, A.; KAPOOR, D.; WANG, J.; SHAHZAD, B.; KUMAR, V.; BALI, A. S.; JASROTIA, S.; ZHENG, B.; YUAN, H.; YAN, D. **Chromium Bioaccumulation and Its Impacts on Plants: An Overview**. *Plants* 2020, 9, 100; doi:10.3390/plants9010100.

SILVA, M. C. **Elementos-traço em macroalgas pardas e vermelhas conspícuas da Ilha da Trindade-Brasil e da costa brasileira**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Oceanografia: Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2018.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of resting subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265-275, 2012.

SKOOG, D.A., WEST, D.M., HOLLER, F.J., CROUCH. S.R., 2006. **“Fundamentos da Química Analítica”**, Pioneira Thomson Learning, 8ª Ed., São Paulo, SP.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. **Determination of Ash in Biomass**. Laboratory Analytical Procedure (LAP), 2005.

SOUSA, T. M. M. Uso do “sargaço” como bioestimulante e biofertilizante natural. Dissertação de mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal. Departamento de Ciências da Vida. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

TELES, Vânia de Lourdes G *et al.* **Ionomic responses of hydroponic-grown basil (*Ocimum basilicum* L.) to cadmium long-time exposure**. *Metallomics*, v. 14, n. 5, 23 jun. 2022. Disponível em: <<https://academic.oup.com/metallomics/article/14/5/mfac023/6561629>>.

SU, Mei Ju; RIBEIRO, Jenniffer Aparecida Schnitzer; DE FARIA, Ricardo Tadeu. Polpa de banana e fertilizantes comerciais no cultivo in vitro de orquídea. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 28-34, 2012.

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: cálculo de fórmulas comerciais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011. 29p. Disponível em: <<https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacbt208.pdf>>

VALE, F.; ALCARDE, José Carlos. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 441-451, 1999.

VEIMROBER JÚNIOR, L. A. A. **Utilização da macroalga *Sargassum* sp. como adsorvente natural no controle de poluição por cobre em meio aquoso**. Dissertação – Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2010.

VILLARES, R.; FERNANDÉZ-LEMA E.; LÓPEZ-MOSQUERA, M.E. Evaluation of beach wrack for use as an organic fertilizer: Temporal survey in different areas. **Thalassas: An International Journal of Marine Sciences**, 32(1), 19-36, 2016.

ZAMBIAZI, R.C. **Análise Físico Química de Alimentos**. Pelotas: Editora Universitária/UFPEL, 202p. 2010. SAS Institute. System for Information, versão 8.0, 2007.

APÊNDICE 1

Tabela 1 – Concentração dos elementos determinados em amostras de macroalgas marinhas.

Metais LQ (mg/kg)	Macroalga	Concentração mg/kg (DPR)	
		Pajuçara	Ipioca
Al 5,00	<i>Sargassum sp</i>	2.469,88 (10,41)	2.981,97 (6,48)
	<i>Ulva compressa</i>	2.403,30 (0,35)	2.906,10 (6,10)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	5.636,50 (3,32)	3.592,31 (4,11)
As 5,00	<i>Sargassum sp</i>	44,68 (6,85)	41,07 (4,75)
	<i>Ulva compressa</i>	26,98 (15,70)	34,64 (10,59)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	10,87 (12,75)	9,45 (20,12)
Ba 5,00	<i>Sargassum sp</i>	15,7 (4,50)	12,95 (4,91)
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
Ca 5,00	<i>Sargassum sp</i>	35.421,10 (2,34)	33.322,68 (3,21)
	<i>Ulva compressa</i>	59.670,84 (14,40)	42.155,41 (3,88)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	52.316,30 (9,85)	66.472,22 (11,89)
Cd 1,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	< LQ
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
Co 1,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	< LQ
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
Cr 1,00	<i>Sargassum sp</i>	2,48 (20,20)	5,18 (1,64)
	<i>Ulva compressa</i>	8,46 (3,09)	22,09 (10,59)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	8,56 (2,89)	7,25 (3,90)
Fe 5,00	<i>Sargassum sp</i>	1.048,48 (4,57)	1.209,71 (4,62)
	<i>Ulva compressa</i>	2.440,48 (0,53)	1.412,74 (5,60)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	1.485,11 (5,54)	1.398,58 (1,48)
K 5,00	<i>Sargassum sp</i>	22.941,30 (0,81)	18.617,00 (3,00)
	<i>Ulva compressa</i>	3.232,15 (2,31)	5.903,15 (2,43)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	7.900,80 (2,82)	9.071,65 (1,55)

Mg 5,00	<i>Sargassum sp</i>	10.667,38 (1,0483)	5.811,14 (0,98)
	<i>Ulva compressa</i>	5.571,83 (6,51)	4.947,62 (3,25)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	6.461,67 (5,02)	5.117,25 (10,14)
Mn 1,00	<i>Sargassum sp</i>	33,20 (5,23)	20,06 (3,67)
	<i>Ulva compressa</i>	24,93 (5,98)	17,45 (5,71)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	26,90 (5,81)	20,24 (3,39)
Na 5,00	<i>Sargassum sp</i>	17.056,80 (1,27)	7.382,00 (0,07)
	<i>Ulva compressa</i>	10.739,00 (7,29)	31.521,25 (4,91)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	80.155,15 (3,21)	76.015,95 (1,06)
Ni 1,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	1,16 (13,41)
	<i>Ulva compressa</i>	12,43 (3,41)	8,58 (11,04)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	2,70 (12,57)	2,15 (12,14)
Pb 2,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	< LQ
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
Se 1,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	< LQ
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
V 1,00	<i>Sargassum sp</i>	< LQ	< LQ
	<i>Ulva compressa</i>	< LQ	< LQ
	<i>Caulerpa racemosa</i>	< LQ	< LQ
Zn 1,00	<i>Sargassum sp</i>	6,76 (0,52)	4,72 (10,92)
	<i>Ulva compressa</i>	6,47 (23,91)	3,49 (8,10)
	<i>Caulerpa racemosa</i>	6,60 (7,70)	2,24 (8,21)