UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

GEISIANE CAVALCANTI MARQUES DA SILVA

ANÁLISE DAS POSSÍVEIS FONTES ALIMENTARES DE INVERTEBRADOS ASSOCIADOS À HALODULE WRIGHTII ATRAVÉS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS (C e N)

Recife
2024

GEISIANE CAVALCANTI MARQUES DA SILVA

ANÁLISE DAS POSSÍVEIS FONTES ALIMENTARES DE INVERTEBRADOS ASSOCIADOS À HALODULE WRIGHTII ATRAVÉS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS (C e N)

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): José Roberto Botelho de Souza

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Geisiane Cavalcanti Marques da.
ANÁLISE DAS POSSÍVEIS FONTES ALIMENTARES DE INVERTEBRADOS ASSOCIADOS À HALODULE WRIGHTII ATRAVÉS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS (C e N) / Geisiane Cavalcanti Marques da Silva. - Recife, 2024.
28 p. : il., tab.

Orientador(a): José Roberto Botelho de Souza
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciênciais Ambientais - Bacharelado, 2024.
Inclui referências.

1. Halodule wrightii . 2. Isótopos estáveis. 3. Macrofauna. 4. Ervas marinhas. 5. Ecologia. I. Souza, José Roberto Botelho de. (Orientação). II. Título.

590 CDD (22.ed.)

GEISIANE CAVALCANTI MARQUES DA SILVA

ANÁLISE DAS POSSÍVEIS FONTES ALIMENTARES DE INVERTEBRADOS ASSOCIADOS À HALODULE WRIGHTII ATRAVÉS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS (C e N)

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 08/10/2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSE ROBERTO BOTELHO DE SOUZA
Data: 18/10/2024 17:04:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. José Roberto Botelho de Souza/ UFPE

Documento assinado digitalmente
gov.br
BRUNO VARELLA MOTTA DA COSTA
Data: 18/10/2024 20:35:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Bruno Varella Motta da Costa/ UFPE

Documento assinado digitalmente
ICP Brasil
WESLEY DE OLIVEIRA NEVES
Data: 18/10/2024 20:46:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

MSc. Wesley de Oliveira Neves/ UFPE

Recife

2024

À minha irmã Joyce, à toda sua força, alegria e amor, que me guiaram e me deram forças para não desistir. Em sua memória eu dedico este trabalho, com todo o meu amor e saudade.

AGRADECIMENTOS

A cada etapa dessa formação, encontrei no apoio e no amor da minha família a força necessária para continuar. Agradeço, com o coração cheio de gratidão, aos meus pais, Joseane Cavalcanti e Gildo Rafael, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim, e por nunca terem medido esforços para que eu tivesse uma educação de qualidade. Este trabalho é tão meu quanto de vocês.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por todas as experiências acadêmicas e pessoais que vivi ao longo dessa graduação. À FACEPE, expresso minha gratidão pela concessão da bolsa, que tornou possível a realização deste trabalho.

Ao meu professor e orientador, José Roberto Botelho de Souza, expresso minha mais sincera gratidão. Sua constante disponibilidade e dedicação em cada fase desse trabalho foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Mais do que um orientador, você foi um parceiro de diálogo, sempre aberto a trocar ideias e discutir caminhos. Obrigado por acreditar em mim, por cada troca valiosa ao longo dessa jornada e por me aturar em seu laboratório desde o segundo período.

Aos meus amigos de laboratório e de turma, com quem dividi risadas, desafios e tantas conquistas. Vocês tornaram cada dia mais leve e transformaram o caminho acadêmico em uma experiência repleta de companheirismo e amizade.

Por fim, agradeço a mim mesma. Agradeço por não ter desistido, por ter encontrado forças mesmo quando parecia faltar, e por ter mantido o foco na minha formação, apesar de todos os desafios que surgiram. Foram momentos de incerteza, de caos e de dor, mas também de superação e crescimento. Este trabalho não é apenas um resultado acadêmico, mas uma conquista pessoal.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”

- Procurando o Nemo, 2003.

RESUMO

Halodule wrightii contribui para a ciclagem de nutrientes de ambientes costeiros. Sua produção primária é consumida principalmente como matéria orgânica particulada (MOP). Elas atuam como abrigos para várias outras espécies, aumentando, dessa forma, a complexidade e biodiversidade do ecossistema. Os isótopos de ^{13}C e ^{15}N foram utilizados para estimar as principais fontes de alimento para macrofauna bêntica associada a bancos de *Halodule wrightii* na praia de Carneiros, PE. As fontes de alimento potenciais e os animais foram desidratadas, maceradas, congeladas e enviadas para análise em espectrômetro de massa de razão isotópica. As fontes de C e N melhor relacionadas com as razões isotópicas dos organismos foram de uma espécie de Macroalga e a Matéria orgânica Particulada em suspensão (com alta proporção de microalgas). Esses resultados mostram que os organismos se alimentam preferencialmente do material em suspensão, preferindo fontes com maior conteúdo proteico. A alta razão C/N em folhas de *H. wrightii* e em folhas senescentes de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* sugerem estratégias para evitar predação e a perda de nutrientes na renovação das folhas, e indicam grande contribuição para a via detrital, pelas plantas. Os poliquetas apresentaram hábitos diversificados, com espécies tipicamente detritívoras até carnívoras, incluindo espécies onívoras.

Palavras-chave: ervas marinhas, macrofauna, ecologia trófica, isótopos estáveis.

ABSTRACT

Halodule wrightii contributes to the nutrient cycling of coastal environments. Its primary production is consumed mainly as particulate organic matter (POM). They provide shelters for several other species, thus increasing the complexity and biodiversity of the ecosystem. The isotopes of 13C and 15N were used to estimate the main food sources for benthic macrofauna associated with *Halodule wrightii* beds on Carneiros beach, PE. The potential food sources and the animals were dehydrated, macerated, frozen for analysis in an isotope ratio mass spectrometer. The C and N sources best related to the isotope ratios of the organisms were a species of macroalgae and suspended particulate organic matter (with a high proportion of microalgae). These results show that the organisms feed preferentially on suspended material, preferring sources with higher protein content. The high C/N ratio in leaves of *H. wrightii* and in senescent leaves of *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* suggest strategies to avoid predation and loss of nutrients during leaf renewal, and indicate a major contribution to the detrital pathway by plants. Polychaetes presented diverse habits, with species typically ranging from detritivores to carnivores, including omnivorous species with high C/N values.

Keywords: seagrasses, macrofauna, trophic ecology, stable isotopes

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO……**	11
2	**METODOLOGIA……**	16
	Local de estudo e coleta……	16
	Tratamento das amostras e análises isotópicas……..	17
3	**RESULTADOS E DISCUSSÃO……**	19
4	**CONCLUSÃO……**	24
	REFERÊNCIAS……...	25

1. INTRODUÇÃO

As cadeias tróficas de ambientes marinhos rasos são influenciadas por vários fatores ambientais como aporte de nutrientes, radiação solar, material em suspensão, entre outros. Esses fatores estão sujeitos a flutuações diárias (marés) e sazonais, afetando a disponibilidade das várias fontes alimentares, fazendo com que análises pontuais representem uma avaliação parcial da contribuição de cada fonte. Além disso, as atividades antropogênicas reduzem a biodiversidade e alteram a composição de espécies, influenciando os processos bottom-up e top-down das redes alimentares, com efeito potencial no funcionamento do ecossistema e de seus serviços fornecidos à humanidade (Karlson et al., 2021). Informações sobre as fontes alimentares das principais espécies dos ecossistemas costeiros são necessárias para avaliar esses ecossistemas.

As pradarias marinhas estão entre os ecossistemas mais relevantes dos ambientes costeiros, contribuindo significativamente para a produção primária sendo consumidas principalmente como matéria orgânica particulada (MOP), atuando como abrigos para várias outras espécies, aumentando, dessa forma, a complexidade e biodiversidade do ecossistema (Hemming e Duarte, 2000; Unsworth et al., 2019). Além disso, as pradarias marinhas desempenham um papel crucial na estabilização dos sedimentos costeiros, na mitigação da erosão e na melhoria da qualidade da água por meio da filtragem de partículas em suspensão e nutrientes.

Halodule wrightii é a espécie de ervas marinhas (*seagrass*) mais comum no Brasil e nos ambientes costeiros rasos (até 10 m) de Pernambuco (Vieira et al., 2024). A fauna associada a essa espécie de erva marinha apresenta alta diversidade de espécies, sendo esta última positivamente relacionada à complexidade do ambiente. Isto é, a composição faunística está relacionada com a arquitetura do habitat em micro escala, enquanto que a abundância das espécies depende do tamanho do habitat. A maioria das espécies da macrofauna, que vivem nesses ambientes, apresenta alta mobilidade e taxas de dispersão, colonizando os habitats disponíveis rapidamente (Vieira et al., 2024,). As ervas marinhas, por sua vez, são fontes de alimento e habitat, e são consumidas principalmente como MOP. Elas conseguem abrigar um grande número de espécies devido à própria estrutura desse ecossistema, aumentando a complexidade do habitat, com a presença das

folhas, sistema radicular, aumento da matéria orgânica em relação ao ambiente adjacente. A degradação do material vegetal contribui para o aumento das fontes de alimento, enriquecendo o ecossistema (Heald & Odum, 1970).

A MOP reflete a produtividade primária do local, servindo de alimento para animais suspensívoros e depositívoros. A sua composição pode ser avaliada através da análise bioquímica (clorofila e feopigmentos), razões elementares entre o Carbono e o Nitrogênio e razões isotópicas δ13C e δ15N, respectivamente (Costa et al., 2021). A cadeia de detritos é um dos componentes principais no fluxo de energia dos ecossistemas, principalmente para o bentos (Ortulan 2016). Esses organismos associados ao substrato proporcionam diversos serviços ecossistêmicos como a capacidade de acelerar a decomposição de detritos, com suas baixas mobilidades, eles são suscetíveis a mudança estrutural das suas comunidades diante de quaisquer perturbações (Bon et al, 2021).

Nesse contexto, esses ecossistemas podem ser investigados através de análises isotópicas, que são reconhecidas como uma ferramenta crucial para fisiologistas, ecologistas e outros cientistas envolvidos na investigação dos ciclos de elementos e matéria no meio ambiente (Pereira, 2007). Os isótopos estáveis têm sido aplicados em diversas áreas científicas, abordando temas como ciclos globais de elementos, condições climáticas passadas, estudos de fontes rochosas, bem como investigações envolvendo plantas e animais, como análises de teias alimentares, paleodietas, ciclagem de nutrientes e identificação de fontes. Além disso, esses isótopos são utilizados para inferir processos, como nitrificação heterotrófica, e determinar taxas, como a contribuição de uma presa na dieta de um predador, fornecendo uma ampla gama de aplicações em estudos ambientais.

Os isótopos de carbono (C) e nitrogênio (N) desempenham um papel crucial na elucidação de vias fotossintéticas, processos fisiológicos em plantas e na determinação das fontes de alimento para consumidores em teias alimentares aquáticas ou terrestres. A presença desses isótopos nos ecossistemas fornece uma perspectiva integrada da história dos processos físicos e metabólicos do ambiente. (Lajtha;Michener 2007). Em uma abordagem mais técnica, isótopos são átomos que compartilham o mesmo número de prótons, mas diferem no número de nêutrons.

Os isótopos estáveis, em contraste aos radioativos, mantêm sua estabilidade energética ao longo do tempo. Destaca-se que, dos mais de 1200 isótopos conhecidos, cerca de 300 são estáveis, sendo que apenas 21 elementos possuem um único isótopo. A interação desses isótopos em reações químicas exibe nuances, com os isótopos mais leves tendendo a reagir mais rapidamente que os mais pesados, influenciando a composição dos produtos resultantes.

A diferença da abundância dos isótopos estáveis entre os vários materiais (e.g., folhas, minerais, água do mar) é muito pequena. Por isto, a composição isotópica é registrada em relação a um valor internacional padrão, expresso em partes por mil.

$$\delta(\%) = \left(\frac{R_{amostra}}{R_{padrão}} - 1 \right) * 1000$$

Onde R é a razão entre pesado e leve $R_{amostra}$ é a razão do isótopo na amostra; e $R_{padrão}$ é a razão padrão. Os isótopos podem ser usados como traçadores, que são expressos em % de átomos.

Um valor positivo de δ indica que as amostras são enriquecidas no isótopo mais pesado relativamente ao padrão internacional. Em contraste, o valor negativo indica que a amostra é empobrecida no isótopo mais pesado relativamente ao padrão internacional. O valor de δ de todas as referências do padrão é por definição 0‰. Esses padrões podem ser obtidos na International Atomic Energy Agency (IAEA) em Viena, Áustria e no National Institute of Standards and Technology (NIST) nos Estados Unidos (Pereira 2007), Tabela 1.

Tabela 1: Abundância relativa (%), razão isotópica e padrão internacional para os isótopos mais utilizados em estudos ecológicos (modificado de Pereira, 2007). SMOW= Standard Mean Ocean Water, PDB= padrão da rocha fóssil Belemnitella Americana, N_2 atm= padrão atmosférico de N_2, CDT= padrão Trolito da cratera do meteorito do Canyon Diablo.

Elemento	Isótopo	Abundância (%)	Razão	Padrão
Hidrogênio	^{1}H ^{2}H	99,985 0,015	$^{2}H/^{1}H$	SMOW
Carbono	^{12}C ^{13}C	98,98 1,11	$^{13}C/^{12}C$	PDB
Nitrogênio	^{14}N ^{15}N	99,63 0,37	$^{15}N/^{14}N$	N_2 atm
Oxigênio	^{16}O ^{17}o	99,759 0,037	$^{17}O/^{16}O$	SMOW,PDB
Enxofre	^{32}S ^{34}S	95,00 4,22	$^{34}S/^{32}S$	CDT

Fonte: Pereira (2007)

O objetivo da análise isotópica é determinar as razões isotópicas entre os elementos estáveis, como, por exemplo, 15N/14N e 13C/12C. Os elementos C, N, S, H e O possuem mais que um isótopo, e a composição isotópica natural dos materiais pode ser medida, com elevada precisão, utilizando espectrômetro de massa de razão isotópica. Para estas análises, as amostras desidratadas (em estufa ou desidratadas por congelamento), devem ser moídas e mantidas secas. As amostras não podem ser mandadas para análise contendo carbono inorgânico.

As razões isotópicas irão caracterizar fontes bióticas e processos moleculares. A base de informação inicial é a fotossíntese, principal processo de formação de biomassa na terra. A fotossíntese é um processo catabólico, ou redutor, e a respiração um processo anabólico ou oxidativo. Os isótopos estáveis de carbono são utilizados, geralmente, para distinguir fontes de carbono alóctones e autóctones. Principalmente para separar plantas C3 de C4. Também são utilizados para entender as interações tróficas das cadeias alimentares. O C3 se comporta de modo previsível, enriquecendo de 1 a 2% em cada passo da interação predador/presa. O carbono presente no tecido de um predador representa a composição isotópica média da matéria orgânica de várias assinaturas isotópicas (e.g., proteínas e carboidratos tendem a ter valores de 13C mais positivos), enquanto lipídios e lignina tendem a ter valores menores de delta de 13C (mais negativos) (Bianchi & Canuel, 2011).

O conhecimento das assinaturas isotópicas de plantas é fundamental para

estudos de ecologia trófica e biogeoquímica, pois permite a identificação de diferentes fontes de carbono nos ecossistemas. Além disso, a variação isotópica em plantas CAM reflete sua capacidade de alternar entre metabolismo C3 e C4, dependendo das condições ambientais

O uso de isótopos de nitrogênio é fundamental para entender os ciclos do nitrogênio nos ecossistemas, especialmente em relação à fixação, nitrificação e desnitrificação. A razão isotópica δ15N pode indicar a origem do nitrogênio (marinho, terrestre ou atmosférico) e revelar processos biogeoquímicos, como a assimilação diferencial por organismos autotróficos e heterotróficos.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o hábito alimentar de organismos detritívoros associados a bancos de *Halodule wrightii*. Para isto, investigamos isotopicamente as fontes de matéria orgânica particulada presente nesses bancos e caracterizamos os organismos relacionando-os às fontes consideradas, através de sua composição alimentar. Além disso, foi caracterizado isotopicamente as fontes de matéria orgânica potencialmente utilizadas pelos detritívoros associados a bancos de *H. wrightii* e investigado as possíveis diferenças nas composições elementar e isotópica de carbono e nitrogênio dos organismos dominantes nesses bancos, para estimar as fontes de MOP utilizadas por cada organismo.

2. METODOLOGIA

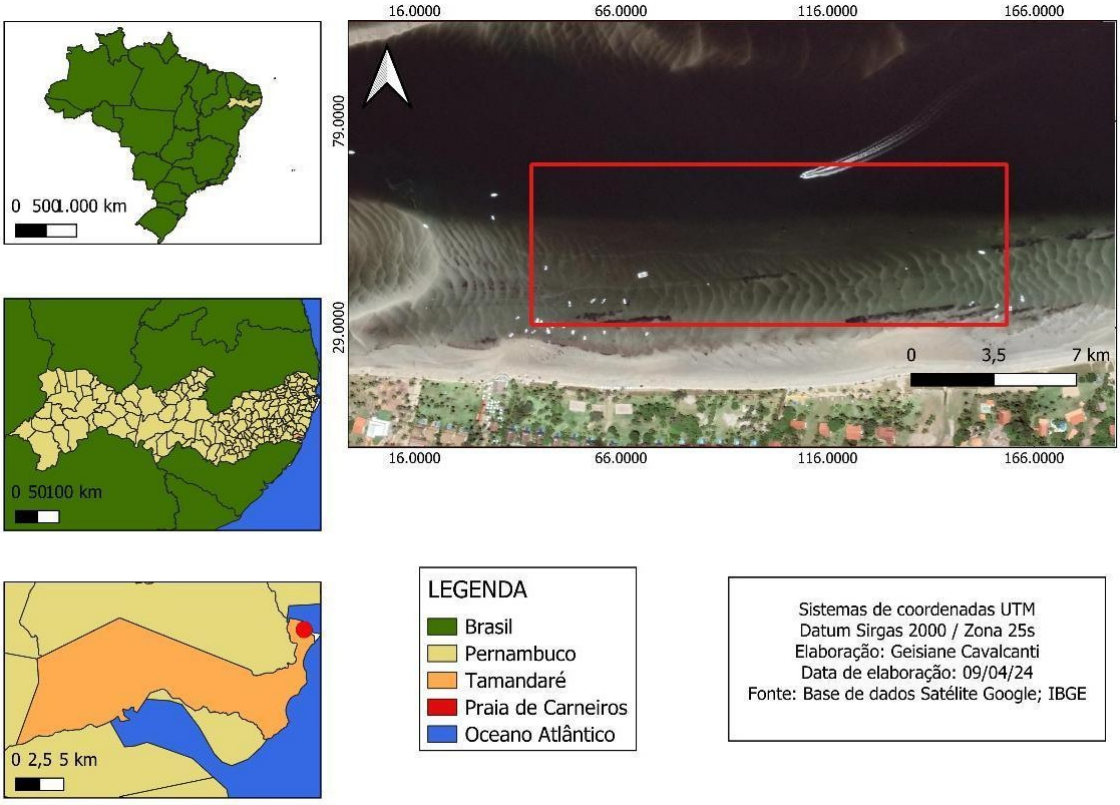
Local de estudo e coleta

As coletas foram realizadas na praia de Carneiros-PE, em 10/01/2023 e 27/11/2023. Foram coletados todos os materiais necessários para o desenvolvimento da pesquisa, sendo eles: macroalgas, sedimentos, erva marinha, organismos, e manguezal. Toda a coleta foi feita manualmente.

A coleta das principais fontes de matéria orgânica incluiu *Halodule wrightii*, *Avicenia schaueriana e Laguncularia racemosa*. Foram utilizadas tesouras de inox e luvas para a coleta desse material, que foi lavado e acondicionado em material de alumínio, e congelado a -20^{o}C para análise posterior.

A coleta dos organismos foi feita diretamente do banco de *Halodule wrightii* com o auxílio de uma pá, em seguida, todo o material foi depositado em uma peneira de 2mm, retirando todo o sedimento, restando apenas organismos de interesse para a pesquisa. Foi coletado o mínimo de biomassa necessário de cada espécie. Ainda vivos, esses animais foram levados para o laboratório, local onde foi feita a triagem e identificação das espécies. Os animais foram mantidos em placas de petri (com água do mar filtrada através de filtro GF/C) por 24 horas, para eliminarem o conteúdo estomacal. Os pesquisadores utilizaram luvas de nitrilo para a coleta.

Figura 1. Mapa da Praia dos Carneiros (Pernambuco) indicando a área de estudo.



Tratamento das amostras e análises isotópicas

Após a triagem, todos os tecidos (animais e vegetais) foram desidratados em estufa a 60º C por um período de 48h. Em seguida, depois de secas, com a ajuda de um almofariz e um pistilo, as amostras foram maceradas até virar pó, sendo armazenadas em tubos de Eppendorf. Após esses processos, foram colocadas em cápsulas de estanho, pesadas e, inseridas em um analisador elementar (EuroVector, modelo EA3000 Single) acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS; marca Thermo Scientific, modelo Delta V Advantage).

O MPS é composto por matéria orgânica particulada em suspensão, zooplâncton e fitoplâncton. Eles são analisados em conjunto. O fitoplâncton e detritos derivados da biomassa do fitoplâncton são estimados indiretamente pela concentração de clorofila e feopigmentos, respectivamente.

O MPS é altamente variável devido à hidrodinâmica do estuário. Foram

selecionados três pontos e coletado um litro de água em cada ponto e acondicionados em uma garrafa âmbar para análise em laboratório. Após filtração, adicionou-se água destilada (~20mL) sobre os filtros para remoção dos sais. Após esse processamento, as amostras foram congeladas (o filtro para análise da [MPS] e análise isotópica foi seco em estufa a 60 graus por 24 h) no laboratório em freezer a -20ºC.

O MPS foi armazenado em envelopes de alumínio e destinado para descarbonatação, que ocorreu através da fumigação com HCl concentrado (12 M) durante 4 h (Lorrain et al., 2003). Para fumigação, alíquotas de cada amostra foram pesadas em béqueres previamente limpos. Os béqueres com as alíquotas do MPS reumedecido foram colocados em dessecador junto com dois béqueres contendo cada um 80 mL de HCl concentrado.

Após o período de fumigação, as alíquotas de MPS foram desidratadas em estufa a 100 ºC por 48 h para completa evaporação do HCl. Em seguida, sub-alíquotas do MPS descarbonatado foram pesadas em cápsulas de estanho e destinadas para análise elementar e isotópica de N e C em um analisador elementar EuroVector (modelo EA3000, modo CHN) acoplado a um espectrômetro de massas de razão isotópica (IRMS; marca Thermo Scientific, modelo Delta V Advantage).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises isotópicas e das composições elementares das fontes de matéria orgânica estudadas (Tabela 2) mostraram grande variação entre elas. As concentrações de carbono (C) foram maiores em *R. mangle* (senescente) e *L. racemosa* (senescente), cujas folhas apresentaram valores de 47,69% e 47,49%, respectivamente. Isso sugere uma reabsorção significativa de nutrientes durante a senescência, permanecendo apenas o carbono estrutural, enquanto as folhas verdes dessas mesmas espécies apresentaram menores proporções de C, refletindo uma fase mais ativa do metabolismo vegetal. Em contraste, as macroalgas apresentaram menores porcentagens de carbono, com *Macroalga M1* exibindo a menor concentração, 25,64%. As concentrações de nitrogênio (N) mostraram uma variação ainda maior, com valores elevados nas folhas de *H.wrightii* e nas macroalgas, especialmente em *Macroalga M3* (3,7%). Essas espécies mostraram maior capacidade de assimilação de nitrogênio, possivelmente adaptando-se a ambientes onde a disponibilidade desse nutriente é variável. A *R. Mangle* (senescente) apresentou a menor concentração de nitrogênio (0,6%), o que é consistente com a remobilização de nutrientes que ocorre durante a senescência, onde o nitrogênio é translocado para outras partes da planta antes da queda das folhas.

Tabela 2: Dados percentuais de Nitrogênio total (NT), carbono orgânico (CO), razão C:N e razões isotópicas ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) dos produtores primários dos prados de *Halodule wrightii* e manguezal da praia de Carneiros – PE.

FONTE	C (%)	N (%)	(C/N)	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{15}N$ (‰)
R. mangle (senescente)	47,69	0,6	92,8	-29,94	1,63
R. mangle (verde)	43,6	1,2	42,26	-28,63	2,08
A. schaueriana (verde)	39,17	1,64	27,89	-29,19	2,51
L. racemosa (verde)	38,02	0,69	64,63	-28,93	8,3
L. racemosa (senescente)	47,49			-30,09	
H. wrightii (folha)	35,96	2,23	18,78	-12,21	3,7
H. wrightii (raiz)	28,91	0,51	65,77	-11,42	0,82
Macroalga M1	25,64	2,23	13,41	-16,83	5,39
Macroalga M2	32,17	2,77	13,56	-22	3,51
Macroalga M3	29,94	3,07	11,37	-17,34	7,16
Matéria orgânica particulada em suspensão (MOPS)			12,84	-16,36	4,47
Matéria orgânica sedimentar (MOS)			13,7	-22,45	2,64

Fonte: a autora (2024)

Os resultados das análises isotópicas realizadas nos organismos associados ao banco de *Halodule wrightii* (Tabela 3) revelaram uma ampla diversidade nos valores de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$, refletindo a complexidade das interações tróficas. Os valores de $\delta^{13}C$ variaram de -21,20‰ a -16,12‰, enquanto os de $\delta^{15}N$ oscilaram entre 4,62‰ e 9,30‰. Essas variações isotópicas fornecem informações sobre as possíveis fontes de matéria orgânica consumida por esses organismos e a posição trófica que ocupam, sendo fundamentais para compreender a estrutura e o funcionamento das teias alimentares nesses bancos de gramíneas marinhas.

Os valores de $\delta^{13}C$, que indicam a origem do carbono assimilado, variam de acordo com o tipo de matéria orgânica consumida, diferenciando, por exemplo, entre fontes de carbono de origem marinha, como algas e matéria orgânica suspensa, e fontes de sedimentos, como detritos vegetais. Já os valores de $\delta^{15}N$ são utilizados para estimar a posição trófica dos organismos, uma vez que o nitrogênio sofre enriquecimento a cada nível trófico, permitindo inferir se o organismo tende a ser herbívoro, detritívoro ou predador.

O organismo da família *Oweniidae* apresentou valores de $\delta^{13}C$ de -18,8‰ e $\delta^{15}N$ de 7,46‰, o que sugere que esse poliqueta ocupa uma posição trófica relativamente elevada. Esses valores indicam que esses organismos provavelmente consomem tanto matéria orgânica suspensa como depositada com seus tentáculos orais ciliados e mucosos, o que pode incluir fitoplâncton e zooplâncton e detritos (Rouse & Pleijel, 2001; Jumars et al. 2015). Esse comportamento depositívoro e ocasionalmente carnívoro é típico de organismos que atuam como consumidores secundários dentro da cadeia alimentar.

Por outro lado, os representantes da família *Orbiniidae* apresentaram valores isotópicos de $\delta^{13}C$ de -16,25‰ e $\delta^{15}N$ de 4,67‰, sugerindo uma dieta composta principalmente por detritos orgânicos. Esses resultados indicam que esses organismos são depositívoros típicos, alimentando-se principalmente da matéria orgânica presente nos sedimentos. A proximidade desses valores com os de fontes vegetais, como as macroalgas, reforça a ideia de que sua dieta é composta majoritariamente por matéria orgânica de origem vegetal. O *Diopatra*, apresentou uma variação, com valores de $\delta^{13}C$ de -16,89‰ e $\delta^{15}N$ de 6,35‰. Além de consumir detritos, a variação de $\delta^{13}C$ sugere que esses poliquetas podem se alimentar de algas (*Macroalga M1*). A classificação desta espécie sugere que ela pode explorar uma variedade de fontes alimentares, refletindo a plasticidade trófica e sua adaptação a diferentes condições ambientais; essas observações vão de encontro às referências existentes, já que as espécies da família Onuphidae, são geralmente onívoros (Jummars et al. 2015).

O *Terebellidae*, com valores de $\delta^{13}C$ de -19,39‰ e $\delta^{15}N$ de 4,62‰, sugere que alimentou-se principalmente de matéria orgânica presente no sedimento. Sua dieta parece incluir matéria vegetal e detritos orgânicos; essa família é composta por espécies detritívoras seletivas, utilizando palpos mucosos para capturar o alimento; esses apêndices podem ser utilizados para capturar material em suspensão, em algumas espécies (Jumars et al., 2015). Já a família *Goniadidae*, com valores de $\delta^{13}C$ de -16,35‰ e $\delta^{15}N$ de 9,30‰, indica uma posição trófica significativamente mais elevada, sugerindo uma dieta que inclui tecidos animais. Esses organismos são predadores de pequenos invertebrados, o que os coloca no topo da cadeia alimentar dentro deste sistema (Rouse e Pleijel, 2001 *Upogebia* apresentou valores de $\delta^{13}C$ de -21,20‰ e $\delta^{15}N$ de 4,83‰, o que sugere que sua dieta inclui matéria orgânica sedimentar (*MOS*), se alimentando de detritos no sedimento; essa espécie vive em galerias permanentes em sedimentos lamosos, ou embaixo de pequenas rochas (Melo, 1999). Por fim, *Eunice sp*. apresentou um valor elevado de $\delta^{15}N$ (7,52‰), indicando um modo de alimentação predatório. O $\delta^{13}C$ de -18,21‰ sugere uma dieta variada, incluindo tanto matéria orgânica marinha como tecidos animais, posicionando essa espécie em um

nível trófico superior; o que corrobora as informações existentes para a família, que é tipicamente onívora (Jumars et al., 2015).

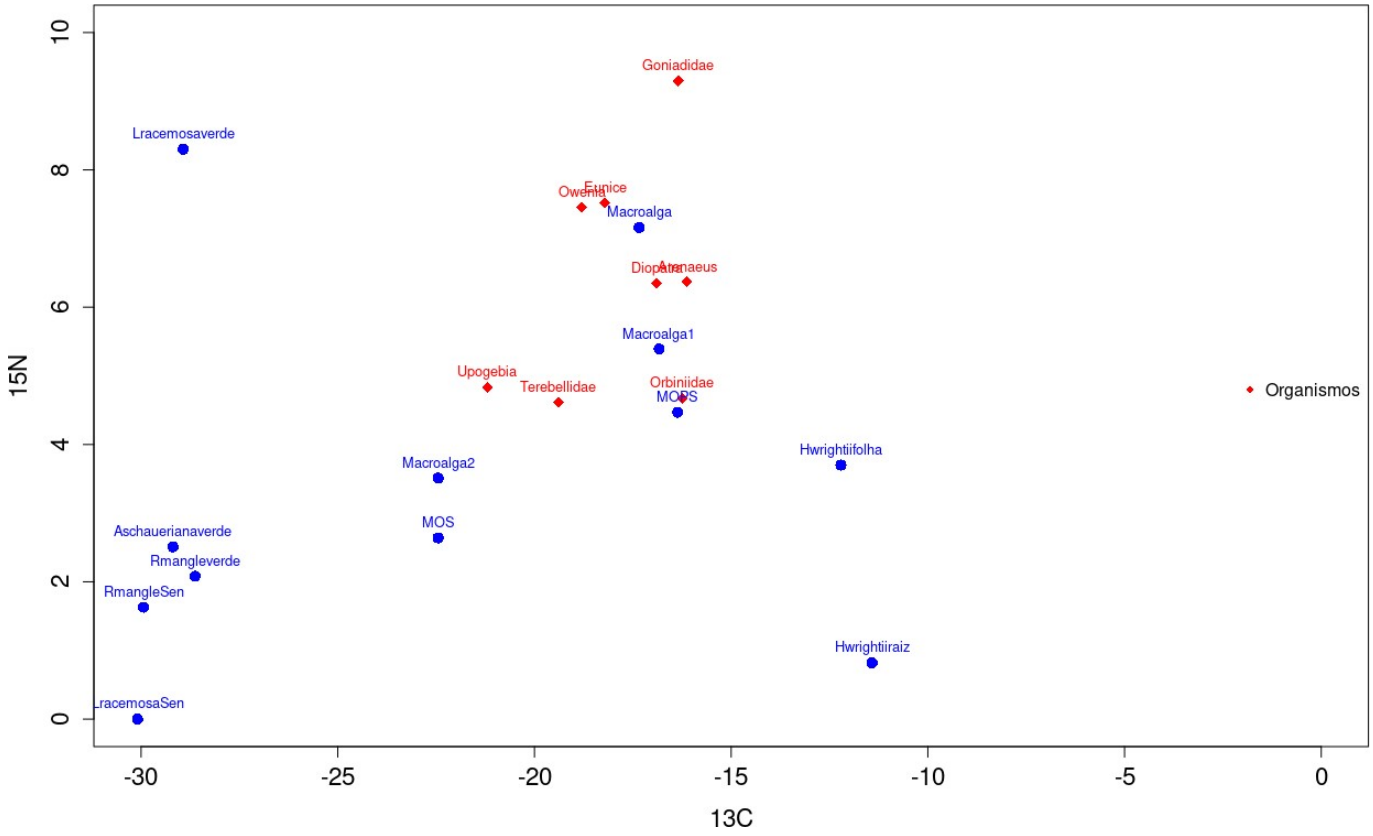
Os dados isotópicos revelam uma diversidade trófica significativa nos bancos de *Halodule wrightii*, com organismos ocupando posições tróficas variadas, desde depositívoros que consomem matéria orgânica de origem vegetal até predadores que se alimentam de pequenos invertebrados. A diversidade nas fontes de carbono e nitrogênio reforça a importância desses bancos de gramíneas marinhas como habitats ricos em recursos e com grande complexidade ecológica.

Tabela 3: Dados percentuais de Nitrogênio total (NT), carbono orgânico (CO), razão C:N e razões isotópicas (δ 13 C e δ 15 N) dos organismos associados aos prados de Halodule wrightii da praia de Carneiros – PE.

FONTE	C(%)	N(%)	(C/N)a	δ13C (‰)	δ15N(‰)
Owenia fusiformis	13,6	3,54	4,48	-18,8	7,46
Orbiniidae	26,6	5,21	5,95	-16,25	4,67
Diopatra cuprea	37,56	6,56	6,68	-16,89	6,35
Arenaeus cribrarius	27,16	5,79	5,47	-16,12	6,37
Terebellidae	33,0	7,79	4,94	-19,39	4,62
Goniadidae	36,0	9,72	4,32	-16,35	9,30
Upogebia	36,6	7,93	5,38	-21,20	4,83
Eunice sp.	32,3	9,09	4,15	-18,21	7,52

Fonte: a autora (2024)

Figura 2: Gráfico de dispersão de ^{15}N e ^{13}C das fontes e animais analisados, associados aos prados de *Halodule wrightii* na foz do Rio Formoso- PE.



Fonte: a autora (2024)

4. CONCLUSÃO

A análise da média dos valores de δ13C e δ15N nos deu uma visão das preferências alimentares e das posições tróficas das espécies que estudamos durante a pesquisa. Através das médias dos isótopos, conseguimos ver padrões diferentes nas dietas e nas interações ecológicas das espécies que encontramos no local em estudo. As variações em δ13C indicaram que algumas espécies provavelmente são alimentadas por algas marinhas, enquanto outras podem estar mais ligadas a detritos orgânicos ou materiais derivados de plantas aquáticas. Essas diferenças nas assinaturas isotópicas de carbono refletem as diferentes fontes de alimento exploradas por cada espécie.

Já ao considerar os valores de δ15N, podemos deduzir as posições tróficas relativas às espécies na cadeia alimentar que eles ocupam. Os valores mais elevados de δ15N sugerem que algumas espécies ocupam posições tróficas superiores umas às outras, pois provavelmente estão se alimentando de presas localizadas em níveis tróficos mais baixos. Por outro lado, valores mais baixos de δ15N indicam posições tróficas mais baixas, com uma alimentação possivelmente baseada em fontes de alimento primário, como as algas.

Com isso, pudemos observar que os detritívoros possuem uma vantagem sobre os herbívoros e os suspensívoros devido à sua dieta mais ampla e diversificada. Enquanto os herbívoros se alimentam exclusivamente de plantas e os suspensívoros dos materiais em suspensão, os detritívoros têm a capacidade de consumir uma grande variedade de matéria orgânica em decomposição e essa dieta mais ampla dá a eles uma maior disponibilidade de alimentos, podendo se alimentar de todos os detritos disponíveis na região, encontrando alimentos com maior facilidade, pois os resíduos orgânicos estão presentes em maior quantidade em ecossistemas, possibilitando uma adaptação eficiente a diferentes condições ambientais. Como podemos observar na figura 2, os detritívoros se concentram mais na região central da figura, isso explica a média dos números de δ13C e δ15N, pois sua dieta está baseada em alimentos diversificados.

REFERÊNCIAS

BIANCHI, T. S.; CANUEL, E. A. **Chemical Biomarkers in Aquatic Ecosystems.** 1st. ed. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2011.

CHEN, S. et al. 2021. **Agricultural land use changes stream dissolved organic matter via altering soil inputs to streams. Science of the Total Environment.** v.796, p.1-14. 2021.

COSTA, BVM, MOREIRA, MZ, BASTOS, RF & amp; YOGUI, GT, 2021. **Distribution and origin of sedimentary organic matter in an eutrophic estuary: Pina Sound – NE Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 93(1): e20190638 DOI 10.1590/0001- 3765202120190638

HEALD E.D. & W.E. ODUM. 1970. **The contribution of mangrove swamps to Florida fisheries.** Gulf Caribbean Fishery Institute Proceedings, 22: 130-135

HEMMING, M.A.; DUARTE, C. M. 2000. **Seagrass ecology.** Cambridge University Press,

Jumars P.A; Dorgan, K.M.; Lindsay, S.M. 2015. Diet of Worms Emended: An Update of Polychaete Feeding Guilds. Annu. Rev. Mar. Sci. 7:497–520.

KARLSON AML, PILDITCH CA, PROBERT PK, LEDUC D & SAVAGE C 2021. **Large Infaunal Bivalves Determine Community Uptake of Macroalgal Detritus and Food Web Pathways.** Ecosystems 24: 384–402. https://doi.org/10.1007/s10021-020-00524-5

MARSHALL J.D., BROOKS J.R. & amp; LAJTHA K. 2007. **Sources of variation in the stable isotopic composition of plants**. Em: MICHENER R. & amp;LAJTHA K. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell Publishing, Malden. ISBN-13: 978-1-4051-2680-9

MASON N.W.H., MOUILLOT D., LEE W.G. & amp; WILSON J.B. 2005. **Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity**. Oikos, n.111(1) p.112 -- 118.

MCGILL, B. et al. **Rebuilding community ecology from functional traits.** Trends in Ecology & Evolution, v.21, p.178–185. 2006.

MELO, G.A.S. 1999. **Manual de identificação dos Crustacea Decapoda do litoral brasileiro: Anomura, Thalassinidea, Palinuridea, Astacidea**. Editora Plêiade, São Paulo, 551p.

MORI, AKIRA S.; FURUKAWA, TAKUYA; SASAKI, TAKEHIRO. **Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change.** Biological reviews, v. 88, n. 2, p. 349-364, 2013.

ORTULAN, C. **Fluxo de matéria orgânica em comunidades bênticas frente a condições atuais e de acidificação dos oceanos**. p.1-127. Tese (Doutorado). Programa de Oceanografia, Universidade de São Paulo. 2016.

PEREIRA, A.L. 2007. **Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas**. Revista Biociências, Taubaté, v. 13, p. 16-27.

RICOTTA, C. et al. 2016. **Measuring the functional redundancy of biological communities: a quantitative guide.** Ecology and Evolution,v.7(11), p.1386–1395.

ROUSE, G.W. E PLEIJEL, F. 2001. Polychaetes. Oxford University Press, 346p.

SANTOS, David Luan Alves dos 2017. **Redundância funcional em recifes impactados pelo turismo em Porto de Galinhas, Nordeste do Brasil.** 64 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

UNSWORTH, RICHARD KF; NORDLUND, LINA MTWANA; CULLEN‐UNSWORTH, LEANNE C. **Seagrass meadows support global fisheries production**. Conservation Letters, v. 12, n. 1, p. e12566, 2019.

VIEIRA, et al. 2024. **Biodiversity patterns of macrofauna associated with Halodule wrightii (Ascherson) in meadows of north-eastern Brazil.** Marine and Freshwater Research, v. 75, n. 5.