

# ESTOQUE DE CARBONO EM MARISMAS: PANORAMA ATUAL

Monteiro, C. P.<sup>a\*</sup>

\*Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.  
\*carlaptmonteiro@gmail.com (Corresponding author).

## ABSTRACT

**Cite as:** Monteiro, C. P., (2023). *Estoque de carbono em marismas: panorama atual*. Braz. J. Aquatic. Sci. Technol. 27(2):008-012. ISSN 1983-9057. DOI: 10.14210/bjast.v27n2.19332

**Received:** 30/03/2023. **Revised:** 09/03/2024. **Accepted:** 02/04/2024. **Published:** 13/04/2024.

**Document type:** Review article.

**Funding:** The authors received no specific funding for this work.

**Competing interest:** The authors declare no competing interest.

**Copyright:** This document is under the Creative Commons Attribution Licence (CC BY 3.0 DEED).

Salt marshes are typical of temperate climate regions that border estuarine margins, covering intertidal areas subject to regular or irregular flooding. Among the many benefits they provide to the ecosystem, their remarkable ability to sequester carbon from the atmosphere and store it in their substrate for periods ranging from centuries to millennia is particularly noteworthy. This carbon, retained in the form of CO<sub>2</sub> in coastal and estuarine environments by salt marshes, is known as "blue carbon." This study aimed to investigate the current state of knowledge about carbon stocks in salt marshes through a systematic bibliographic approach. Three databases were selected for the research: Springer, ScienceDirect, and Periódicos Capes. In each of them, the keywords "tidal salt marsh" and "carbon stock" were used, employing quotation marks around each term and the AND operator. It was observed that, given the urgency to develop actions to mitigate the effects of climate change, studies focusing on salt marshes have received increasing attention globally. However, this interest is recent, and knowledge on the subject is still limited, focusing on specific regions of the planet. The complexity of these habitats is a frequently neglected topic, although of great importance. Invasive plants have an impact on the dynamics of the carbon cycle in these areas. Additionally, the heterogeneity of salt marshes is a crucial factor to be considered in studies to avoid errors in carbon inventories. Salt marsh restoration activities are considered appropriate approaches to coastal management, potentially transforming degraded areas into carbon sinks

**Keywords:** Estuary. Climate changes. Ecosystem services.

## 1 Introdução

Marismas são típicas formações que definem as margens estuarinas, recobrando áreas entremarés inundadas de modo regular ou irregular. Nativa de latitudes médias, poucas espécies de que constituem marismas penetram com sucesso em latitudes tropicais e equatoriais onde manguezais dominam (Strong & Ayres, 2013). Dentro da flora, essas espécies são halófitas pertencentes em grande parte a família Poaceae e se caracterizam pelo metabolismo fotossintético C<sub>4</sub>, de alta eficiência hídrica por carbono assimilado, e ampla distribuição latitudinal (Adams et al., 2012).

As marismas são amplamente reconhecidas por prover importantes serviços ecossistêmicos. Elas contribuem para a adaptação e resiliência ao clima, protegendo a zona costeira contra tempestades e aumento do nível do mar, prevenindo erosões, regulando a qualidade da água, participando da ciclagem de nutrientes e servindo de refúgio para espécies marinhas importantes e ameaçadas (Howard et al., 2014). Se destaca entre os diversos serviços sua grande capacidade em sequestrar e armazenar o carbono da atmosfera no seu substrato, que permanece no sedimento de séculos a milênios (Miller et al., 2022). A função de sumidouro de carbono deste ecossistema vem sendo reconhecida exponencialmente durante os anos pela decomposição da matéria orgânica ocorrer de forma lenta e apresentar altas taxas de entrada de matéria orgânica (Mueller et al., 2019).

O carbono armazenado na forma de CO<sub>2</sub> nos ambientes costeiros e estuarinos por marismas, mangues e pradarias de gramíneas marinhas são coletivamente conhecidos como carbono azul (*blue carbon*), e apresenta-se em ambas as formas orgânica e inorgânica. Esses ambientes sequestram maiores quantidades de carbono do que ecossistemas terrestres, e por esse motivo, a conservação e restauração de áreas de carbono azul são reconhecidas como chave para a mitigação do aumento da temperatura global e a atenuação das mudanças climáticas (Soares et al., 2022). Como ecossistema de carbono azul, as marismas são um dos mais importantes sumidouros de carbono do planeta e exibem uma elevada eficiência na fixação de carbono (Howard et al., 2014). A fixação

nestas áreas ocorre a uma taxa cerca de 55 vezes mais rápida que as florestas tropicais úmidas (considerado um dos sumidouros terrestres mais significativos). Além disso, a fixação global de carbono também excede de florestas tropicais (Mcleod et al., 2011). Estas taxas são particularmente elevadas se considerado que as marismas ocupam apenas uma pequena fração (0,1-2%) da área terrestre total das florestas tropicais (Sousa et al., 2017). Essas espécies de plantas halófitas podem armazenar o carbono em suas porções aéreas (colmos e folhas) e subterrâneas (raízes e rizomas). No entanto, a maior parte do carbono é armazenado nos sedimentos, permitindo a estocagem por milhares de anos, enquanto nas florestas tropicais a armazenagem do carbono ocorre principalmente no material vegetal, mantido por de dezenas a centenas de anos (Macreadie et al., 2017).

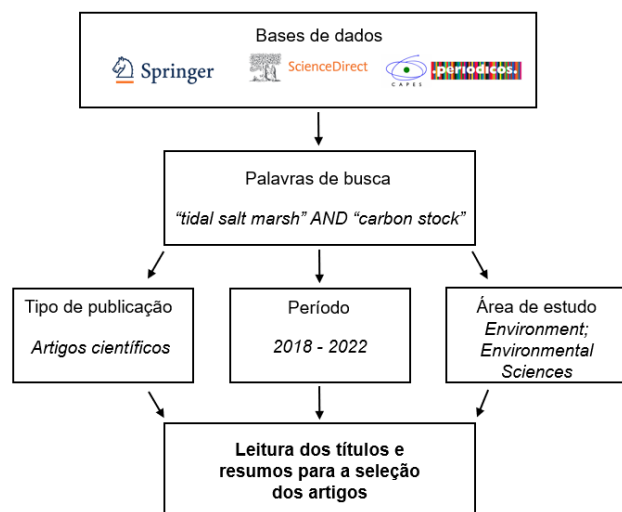
Embora os ecossistemas de carbono azul sejam reconhecidamente importantes para o sequestro e estocagem de carbono, as ameaças às marismas são crescentes e seu declínio é evidente (Howard et al., 2014). Uma vez degradadas, as marismas deixam de exercer o papel de sequestro e estocagem, e passam a emitir carbono (Miller et al., 2022). Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), o planeta vem passando por um longo período de aquecimento, sendo o principal fator alarmante para o surgimento de diversos problemas socioambientais (Rocha, 2021). Diante disto, percebe-se que quanto maior o aquecimento, maior a frequência e intensidade de eventos extremos e mais provável é que agora eventos raros se tornem relativamente comuns (Rocha, 2021).

Visando uma maior compreensão dos potenciais serviços ecossistêmicos relacionados ao carbono, sua complexidade e o impacto da degradação dessas espécies de plantas halófitas, o objetivo desse estudo foi investigar o estado atual do conhecimento dos estoques de carbono nas marismas por meio de uma abordagem bibliográfica sistemática. Este artigo apresenta uma síntese sucinta da organização efetuada na literatura revisada, detalha a análise de conteúdo de cada conjunto de artigos e, por último, revela as conclusões elaboradas.

## 2 Metodologia

Trata-se de uma revisão sistemática empregando métodos pré-definidos buscando uma pesquisa bibliográfica abrangente com o intuito de avaliar criticamente os estudos individuais do tema proposto (Donato & Donato, 2019). Esse estudo afere o panorama atual, ou estado da arte, das pesquisas sobre o estoque de carbono em marismas por meio da revisão bibliométrica sistemática e na leitura e análise de artigos de periódicos científicos, respeitando os processos metodológicos encontrados na Figura 1. A elaboração do esquema analítico foi fundamentada no procedimento de investigação conhecido como análise de conteúdo. De acordo com Bardin (2010), a análise de conteúdo pode ser estruturada em: etapa preliminar; exploração do material e processamento; e interpretação dos resultados. Os passos essenciais, nesse procedimento, incluem: (1) a determinação do conjunto de dados e da amostra, isto é, a seleção de documentos, (2) a codificação e (3) a avaliação e interpretação dos resultados.

Figura 1. Exemplificação dos processos metodológicos utilizados para coleta de dados e seleção dos artigos.



Foram selecionadas três bases de dados: Springer, Science direct e Periódicos Capes. Em cada base de dados foram aplicadas as palavras de busca "tidal salt marsh" e "carbon stock", utilizando-se das aspas em cada termo e do operador AND. Com o intuito de priorizar trabalhos com a mesma linha de estudo, foram selecionados artigos e para isso foram aplicados filtros limitando a área de pesquisa, optando-se pelos termos Environment e Environmental Sciences. Além disso, aplicou-se o filtro de tipo de publicação, sendo selecionados apenas artigos científicos avaliados por pares. Os documentos foram escolhidos mediante a delimitação do período de publicação (2018 a 2022), sendo cinco anos anteriores tendo como base a data da produção dessa revisão (setembro/2022) visando trazer um panorama atual dos estudos sobre o tema.

A etapa seguinte a aplicação dos filtros e inserção das palavras de busca foi a análise do título e resumo dos artigos, para selecionar apenas os que se encaixam no tema revisado sistematicamente. Foram incluídos na seleção os artigos que especificamente estudaram o estoque de carbono em marismas, sendo excluídos os que incluíam em seus títulos e resumos termos como mangrove, seagrass, marine ecosystems, coastal regions, estuaries, pois após a leitura de seus resumos concluiu-se que o foco desses trabalhos era uma análise geral do ecossistema costeiro ou outros tipos de plantas em ambientes estuários. Enfim, foi feita a leitura dos textos filtrados em sua totalidade.

Para sintetizar e interpretar os resultados, buscou-se análise quantitativa para traçar o perfil da produção científica, detalhando: estudos selecionados em cada processo de exclusão, bases de dados, ano de publicação, região geográfica, idioma, método, periódicos e fator de impacto dos periódicos (FI). O FI dos estudos selecionados foi realizado utilizando a base bibliométrica Journal Citation Reports (JCR) que os classifica em: Q1, elevado impacto; Q2 e Q3, médio impacto; Q4, indicador mais baixo. Se trata de um indicador do quociente do número de todas as citações dos artigos publicados em um determinado ano,

sendo o impacto das produções relacionado a utilidade dessa publicação para outros pesquisadores (Cardoso et al., 2019). O link utilizado para a busca foi <https://jcr.clarivate.com/> e o ano do qual foi coletada as últimas informações referentes ao FI, 2021. Seguidamente, tem-se uma análise qualitativa organizada por meio da síntese dos conteúdos em destaque nas produções, visando traçar grandes áreas predominantemente abordadas para o detalhamento e discussão.

## 3 Resultados e discussão

Foram obtidas 4.012 publicações na busca das bases de dados Springer, Science direct e Periódicos Capes com as palavras de busca tidal salt marsh e carbon stock. Após a aplicação dos filtros, restaram 252 estudos, que foram submetidos a análise do título e resumo chegando ao número de 24 artigos adequados, sendo 3 repetições, totalizando 21. Na Tabela 1 pode-se observar detalhadamente os números de publicações em etapa da aplicação de filtros e processos de exclusão.

Tabela 1. Quantidade de publicações levantadas em cada processo de exclusão.

Filtros e Etapas	Base de dados		
	Springer	Science Direct	Periódicos Capes
"tidal salt marsh" AND "carbon stock"	1405	2455	152
Artigos	648	927	130
2018-2022	224	227	76
Área de estudo	76	136	40
Títulos e resumos	5	10	9
<b>Total</b>	<b>24</b>		
<b>Total sem repetições</b>	<b>21</b>		

Na Tabela 2 se encontra a caracterização quantitativa dos artigos analisados (ano de publicação, região geográfica, idioma e método) a fim de trazer uma análise e discussão sobre suas informações bibliométricas. Quanto ao período de publicação, 2021 se destacou com 43% dos estudos selecionados (n = 9), seguido de 2019 com 19% (n = 4), 2018 e 2020 (14,25%, n = 3) e 2022 (9,5%, n = 2). O penúltimo ano mostrou um aumento significativo de estudos em relação aos outros, já o atual (2022) apresentou o menor número, o que pode se dar pelo tempo do processo de submissão e publicação dos periódicos ou por ainda não estar nas bases de dados pela sua indexação recente. Os dados mostram que existe um crescente interesse em estudos relacionados a estoques de carbono em marismas, entretanto é necessária a confirmação através de uma análise futura incluindo todo o ano de 2022.

A cerca das regiões geográficas onde os estudos foram conduzidos, a Ásia teve o maior número (n = 9), sendo os países China, Índia e Sri Lanka. América do Norte foi a segunda em ordem decrescente (n = 5, Canadá e Estados Unidos da América), seguida da Europa (n = 4, Holanda, Bélgica, Irlanda e Espanha), América Central (n = 1, El Salvador), África (n = 1, África do Sul) e Oceania (n = 1, Austrália). A região da América do Sul, onde se encontra o Brasil, foi a única sem estudos selecionados nos critérios da revisão, juntamente com a Antártida (único continente que não possui marismas). Com essa informação, foi detectada uma lacuna no desenvolvimento de estudos que quantifiquem o estoque de carbono nas marismas da América do Sul, sendo que nos últimos cinco anos não foram encontrados artigos. Os artigos são em sua totalidade publicados em inglês (n = 21) e utilizando o método quantitativo (n = 21), sendo os principais instrumentos metodológicos: coletas de solo, coletas de material orgânico, análise laboratorial de solo, alometria e análise estatística.

Para classificar os periódicos onde foram publicados os artigos selecionados em relação ao seu Fator de Impacto (FI), utilizou-se a referência do Journal Citation Reports, em sua última edição, com base no ano de 2021. Os artigos estavam publicados em 12 periódicos e todos apresentaram FI no JCR. Em sete revistas científicas (Estuarine, Coastal and Shelf Science; Catena; Science of the Total Environment; Biogeosciences; Geoderma; Global change biology e International Journal of Environmental Research and Public Health)

o FI foi classificado como impacto elevado (Q1), contendo 62% (n = 13) dos estudos selecionados. Os cinco periódicos restantes (Journal of Soils and Sediments; Estuaries and Coasts; City and Environment Interactions; Chinese Geographical Science e Wetlands) apresentaram médio impacto (Q3), abrangendo 38% dos estudos (n = 8). A **Tabela 3** apresenta o número de artigos de cada periódico e seu Fator de Impacto. Das distintas maneiras de avaliar-se um periódico científico, o FI das publicações é o que apresenta notoriedade e priorização pelas agências de fomento. Ele é obtido dividindo o número total de citações dos artigos acumulados nos últimos dois anos pelo total acumulado de artigos publicados pela revista no mesmo período.

**Tabela 2.** Caracterização quantitativa de alguns temas dos artigos selecionados.

Categorias quantitativas	Amostra
<i>Ano</i>	2021 (n = 9) 2019 (n = 4) 2018 (n = 3) 2020 (n = 3) 2022 (n = 2)
<i>Região geográfica</i>	Ásia (n = 9) América do Norte (n = 5) Europa (n = 4) América Central (n = 1) África (n = 1) Oceania (n = 1)
<i>Idioma</i>	Inglês (n = 21)
<i>Método</i>	Quantitativo (n = 21)

**Tabela 3.** Detalhamento do Fator de impacto relacionado aos periódicos.

Periódico	Nº de artigos	FI
Journal of Soils and Sediments	2	Q3
Estuaries and Coasts	3	Q3
Estuarine, Coastal and Shelf Science	4	Q1
Catena	1	Q1
Science of the Total Environment	4	Q1
Biogeosciences	1	Q1
Geoderma	1	Q1
City and Environment Interactions	1	Q3
Global chance biology	1	Q1
International Journal of Environmental Research and Public Health	1	Q1
Chinese Geographical Science	1	Q3
Wetlands	1	Q3

Com uma média percentual estimada da distribuição dos estudos por área, é possível afirmar que *Mudanças climáticas e ação antrópica* abarcam aproximadamente 39% dos estudos, refletindo a crescente preocupação com os impactos humanos sobre o clima global. A *Variabilidade*, representando cerca de 33% dos estudos, destaca o interesse em compreender as diversas facetas e complexidades dos ecossistemas de marismas. A presença de *Plantas invasoras*, com 17% dos estudos, ressalta a importância da compreensão dos efeitos de espécies não nativas sobre esses ambientes. A *Restauração*, abrangendo cerca de 11% dos estudos, reflete os esforços em promover a recuperação e conservação desses ecossistemas degradados. Por

fim, a *Lacuna de conhecimento*, citada em aproximadamente 34% dos estudos, destaca a necessidade contínua de pesquisas para preencher as lacunas e compreender totalmente os sistemas de marismas. Essas distribuições percentuais fornecem insights valiosos sobre as áreas de foco e interesse dentro do campo da ecologia de marismas, permitindo uma abordagem mais quantitativa e abrangente na apresentação dos resultados da análise dispostos a seguir.

### 3.1 Mudanças climáticas e ação antrópica

Atualmente, estamos vivendo a transição para uma economia de baixo carbono e serviços ecossistêmicos autorregulados chamam atenção nesse processo por serem soluções naturais para a equilibrar os impactos da ação antrópica sobre o clima (Yuan et al., 2020; Raw et al., 2021). Dentro dos ecossistemas que provêm serviços de sequestro de carbono, os habitats de vegetação costeira, como as marismas, que são conhecidos como ecossistemas de carbono azul, são os mais efetivos (Chastain et al., 2022). Sendo assim, ecossistemas costeiros mostram um promissor potencial para agirem como sumidouros de carbono na mitigação das mudanças climáticas (Perera et al., 2022).

A acumulação de carbono a longo prazo nas marismas consegue ter taxas altas e a perturbação desses sistemas causam danos aos inventários de carbono sedimentar, o que pode resultar na liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Por isso, a proteção dessa vegetação deve ser considerada como parte dos esforços para atenuar as mudanças climáticas (Ruiz-Fernández et al., 2018). Os esforços para a conservação dos sumidouros vem sendo destaque nas discussões ao redor do globo e em uma escala mundial as zonas úmidas podem oferecer em torno de 14% das oportunidades de mitigação das mudanças climáticas através do estoque de carbono, sendo seu sequestro 55 vezes mais rápido do que as florestas tropicais (Perera et al., 2022). Ecossistemas de carbono azul cobrem aproximadamente 0,2% da superfície oceânica, entretanto é estimado que são responsáveis por 50% do total do carbono das regiões costeiras, que incluem sistemas estuarinos e plataformas continentais (Chastain et al., 2022). Uma preocupação para além das ações antrópicas é aumento do nível do mar, pois é um risco ao causar a redução dos estoques de carbono (Ruiz-Fernández et al., 2018; Chastain et al., 2022; Pace et al., 2021; Raw et al., 2021).

Apesar das discussões sobre a ação antrópica nas mudanças climáticas focarem nas emissões de combustíveis fósseis, 30% das emissões totais do mundo vem da destruição de ecossistemas naturais (Pace et al., 2021). Em relação a conversão da vegetação de marismas para outros usos da terra, Ewers Lewis e colaboradores obtiveram resultados que mostram a perda física de sedimentos após a antropização, assim como a desaceleração da taxa de acumulação de C no sedimento (Ewers Lewis et al., 2019). Os autores sugerem uma estimativa de perda de 70% do carbono sedimentar nas áreas convertidas em comparação com as intactas e que o estoques localizados nessas áreas foram acumulados em escalas de tempo milenares.

### 3.2 Variabilidade

Nos estudos que objetivam mensurar o estoque de carbono, geralmente é adotada uma abordagem visando detectar a diferença entre distintos habitats ou ecossistemas, onde o foco não é estudar a complexidade de sistemas similares (e.g. condições do habitat, tipo de vegetação, composição e estrutura da espécie), pois se assume que eles tenham resultados também similares. Estudos sugerem que em sistemas considerados homogêneos em condições e distribuição, o estoque de carbono pode variar em um nível substancial. As marismas possuem processos hidrológicos, ecológicos e sedimentares complexos (e.g. coexistência de espécies, padrão espacial, vegetação não-linear, funcionamento do ecossistema e resiliência) e isso resulta em variações espaciais entre habitats com condições similares (Yang et al., 2020).

Habitats de *Spartina alterniflora* diferem significativamente entre áreas de estudo, dependendo das circunstâncias do local e dos processos relacionados ao carbono. Os estoques de carbono ligados a espécie derivam de múltiplas fontes e sua formação é movida por complicados

fatores. Na China, foi detectado que nas zonas úmidas prevalecem fontes de carbono terrígenas, porém em áreas mais ao sul prevalece o carbono derivado do mar (Liu et al., 2021). A profundidade de onde se é amostrado o solo para análise também influencia na variabilidade, sendo que conforme a profundidade aumenta, o componente terrestre do estoque diminui e aumenta o marinho e a tendência é do estoque de C diminuir conforme aumenta a profundidade (Yuan et al., 2020). Embora, outros estudos obtiveram resultados opostos, onde se encontra maior acumulação de carbono com maior profundidade (Zhang et al., 2021), o que corrobora com a hipótese de que cada área de marisma é única e não conseguimos prever os números até serem feitos estudos mais aprofundados em cada região. O clima também influencia na variabilidade do C. Em períodos chuvosos o estoque pode chegar a ser sete vezes maior que em períodos de seca (Kaviarasan et al., 2018). Não levar em consideração a heterogeneidade das marismas pode provocar erros ao fazer estudos de mensuração do inventário de C, sendo importante pautar as variáveis ambientais e o contexto biogeográfico (Penk & Perrin, 2022).

### 3.3 Plantas invasoras

A invasão de novas espécies de marismas pode ameaçar a sustentabilidade dos ecossistemas e alterar a dinâmica do ciclo do carbono na área ocupada (Zhang et al., 2021). Esse processo altera a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas nativos através da sua interferência nos reservatórios biogeoquímicos e no fluxo de matéria e energia. A invasão de *S. alterniflora* na China, por exemplo, pode levar à redução da biodiversidade local, competindo com espécies nativas e alterando a estrutura da vegetação (Zhang et al., 2021). Além disso, como demonstrado por Zhang et al. (2018), a invasão dessa espécie pode resultar em mudanças nos teores e estoques de carbono orgânico do solo, com consequências negativas para a capacidade de armazenamento de carbono dos ecossistemas de marismas. Esses impactos negativos destacam a importância de uma abordagem integrada para o manejo de plantas invasoras.

Entretanto, nem sempre as plantas invasoras trazem malefícios na área onde se instalam. A invasão de *S. alterniflora* na China, uma espécie nativa do continente americano, tem sido associada a um aumento significativo nos estoques de carbono após um período de 7 a 20 anos, como destacado por Xiangzhen et al. (2019) e Zhang et al. (2018). Estudos também mostram que a presença de carbono sedimentar, resultante da alteração do habitat pela espécie invasora, está positivamente correlacionada com os níveis de nitrogênio, salinidade e umidade do solo, enquanto exibe uma correlação negativa com os valores de pH e densidade do solo, à medida que a planta se expande pela área natural (Xiangzhen et al., 2019). No entanto, em uma perspectiva de curto prazo (2-3 anos), a invasão de *S. alterniflora* pode levar à perda de carbono sedimentar. Isso ressalta a importância de considerar tanto os possíveis benefícios a curto prazo quanto os impactos negativos a longo prazo na dinâmica do carbono e na saúde geral dos ecossistemas costeiros.

### 3.4 Restauração

O objetivo da restauração de marismas degradadas é reestabelecer componentes, funções e valores da zona úmida para que corresponda totalmente ou parcialmente ao mesmo habitat historicamente inalterado. As atividades de restauração são consideradas abordagens de gestão costeira adequadas, já que os distúrbios e pressões antropogênicas limitam os benefícios ecológicos desses ecossistemas (Raw et al., 2021). A colonização vegetal adequada é de extrema importância por dois motivos: reestabelece o habitat para espécies de animais selvagens costeiros e melhora o desenvolvimento dos serviços ecossistêmicos altamente valorizados, como o armazenamento de carbono (Drexler et al., 2020). As marismas em restauração, ainda sem vegetação, podem acumular carbono através de fontes alóctones, provenientes de estuários próximos.

Existem obstáculos quando se trata da restauração. Um deles é a conectividade dos ambientes degradados com as marés, sendo que

quando ela se encontra mais elevada, requer escavação para poder seguir com o processo. Caso essas áreas conseguirem ser restauradas, o sequestro de carbono é previsto a aumentar em 15%, em comparação com não tomar nenhuma ação. Para além da questão ambiental, também é preciso que se incorporem objetivos sociais e econômicos do projeto de restauração para que o resultado seja benéfico a todos (Raw et al., 2021).

### 3.5 Lacuna de Conhecimento

Termos como “uncertainties”, “lack of sampling”, “limited information”, “poorly understood”, “remains unclear”, “little is known”, “rarely explicitly”, foram identificados com bastante frequência nos artigos analisados, sendo relacionados a falta de conhecimento produzido sobre os estoques de carbono nas marismas (Xiangzhen et al., 2019; Drexler et al., 2020; Yang et al., 2020; Chastain et al., 2022; Penk & Perrin, 2022). Outros estudos mencionaram que seus resultados seriam os primeiros ligados aos seus objetivos de pesquisa na sua área região geográfica específica (Kaviarasan et al., 2018; Perera et al., 2022). Isso mostra que atualmente lida-se com uma grande lacuna a respeito da compreensão do tema. Consequentemente, estudos futuros são necessários para compreender toda a complexidade e o potencial dessas espécies de plantas para o desenvolvimento de estratégias com a finalidade de mitigar as mudanças climáticas através do sequestro e armazenamento do carbono presente na atmosfera.

## 4 Considerações finais

Diante da urgência no desenvolvimento de ações que atenuem os efeitos das mudanças climáticas, estudos tendo as marismas como tema vem ganhando exponencialmente atenção a nível mundial. Entretanto, esse interesse é recente e o conhecimento acerca ainda é limitado e desenvolvido apenas em regiões específicas do globo. Na América do Sul, não foram encontrados estudos nas bases bibliográficas utilizadas nessa revisão.

Os ecossistemas de carbono azul, conhecidos como *blue carbon*, são altamente eficazes na captura e armazenamento de carbono. Apesar de ocuparem apenas 0,2% da superfície oceânica, as áreas onde essas espécies vegetais são encontradas têm grande potencial como sumidouros de carbono. As marismas, em particular, armazenam mais carbono no sedimento do que em sua vegetação, mas a atividade humana e a conversão do uso da terra nessas áreas podem reduzir esse acúmulo.

A complexidade desses habitats é um tema raramente abordado e de ampla importância. Seguindo na contramão do que é esperado, áreas diferentes com uma mesma espécie de marismas obtém resultados significativamente dissimilares entre si. Isso se dá por fatores como: sua única distribuição espacial, seus diferentes processos ecológicos, condições climáticas de cada região, interação com outras espécies da fauna e flora, ação antrópica, entre outros. O estoque de carbono também é diferente em relação a profundidade do solo e sua distância do mar. Plantas invasoras alteram a dinâmica do ciclo de carbono nessas áreas. A heterogeneidade das marismas é fator crucial a ser levado em consideração nos estudos afim de evitar erros nos inventários de carbono.

Atividades de restauração das marismas são consideradas abordagens de gestão costeira adequadas, podendo transformar áreas degradadas em sumidouros de carbono. Porém, existem obstáculos a serem superados e é preciso sejam incorporados objetivos sociais e econômicos concomitantemente com os ambientais.

## Referências

- Adams, J., Grobler, A., Rowe, C., Riddin, T., Bornman, T., & Ayres, D. (2012). Plant traits and spread of the invasive salt marsh grass, *Spartina alterniflora* Loisel., in the Great Brak Estuary, South Africa. *African Journal of Marine Science*, 34(3): 313–322. DOI: 10.2989/1814232x.2012.725279.
- Cardoso, K. A. de S. W., Costa, H. G., Silveira, H. M. C. da, Rodriguez Y Rodriguez, M. V., & Dias, A. C. (2019). Análise dos aspectos que mais influenciam a publicação de artigos em periódicos de elevado impacto científico: revisão

- sistemizada. *Sistemas & Gestão*. 14(1): 13–27. DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n1.1412.
- Chastain, S. G., Kohfeld, K. E., Pellatt, M. G., Olid, C., & Gailis, M. (2022). Quantification of Blue Carbon in Salt Marshes of the Pacific Coast of Canada. *Biogeosciences*. 19(24): 5751–5777. DOI: 10.5194/bg-19-5751-2022.
- Donato, H., & Donato, M. (2019). Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. *Acta Medica Portuguesa*. 32(3): 227–235. DOI: 10.20344/amp.11923.
- Drexler, J. Z., Davis, M. J., Woo, I., & De La Cruz, S. (2020). Carbon Sources in the Sediments of a Restoring vs. Historically Unaltered Salt Marsh. *Estuaries and Coasts*. 43(6): 1345–1360. DOI: 10.1007/s12237-020-00748-7.
- Ewers Lewis, C. J., Baldock, J. A., Hawke, B., Gadd, P. S., Zawadzki, A., Heijnis, H., Jacobsen, G. E., Rogers, K., & Macreadie, P. I. (2019). Impacts of land reclamation on tidal marsh 'blue carbon' stocks. *Science of the Total Environment*. 672: 427–437. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.345.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M. (eds.) (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA, 181p.
- Kaviarasan, T., Dahms, H. U., Gokul, M. S., Henciya, S., Muthukumar, K., Shankar, S., & Arthur James, R. (2018). Seasonal Species Variation of Sediment Organic Carbon Stocks in Salt Marshes of Tuticorin Area, Southern India. *Wetlands*. 39(3): 483–494. DOI: 10.1007/s13157-018-1094-6.
- Liu, J., Deng, D., Zou, C., Han, R., Xin, Y., Shu, Z., & Zhang, L. (2021). *Spartina alterniflora* saltmarsh soil organic carbon properties and sources in coastal wetlands. *Journal of Soils and Sediments*. 21(10): 3342–3351. DOI: 10.1007/s11368-021-02969-0.
- Macreadie, P. I., Ollivier, Q. R., Kelleway, J. J., Serrano, O., Carnell, P. E., Ewers Lewis, C. J., Atwood, T. B., Sanderman, J., Baldock, J., Connolly, R. M., Duarte, C. M., Lavery, P. S., Steven, A., & Lovelock, C. E. (2017). Carbon sequestration by Australian tidal marshes. *Scientific Reports*. 7(1). DOI: 10.1038/srep44071.
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 9(10): 553-560. DOI: 10.1890/110004.
- Miller, C. B., Rodriguez, A. B., Bost, M. C., McKee, B. A., & McTigue, N. D. (2022). Carbon accumulation rates are highest at young and expanding salt marsh edges. *Communications Earth and Environment*. 3(1). DOI: 10.1038/s43247-022-00501-x.
- Mueller, P., Ladiges, N., Jack, A., Schmiel, G., Kutzbach, L., Jensen, K., & Nolte, S. (2019). Assessing the long-term carbon-sequestration potential of the semi-natural salt marshes in the European Wadden Sea. *Ecosphere*. 10(1). DOI: 10.1002/ecs2.2556.
- Pace, G., Peteet, D., Dunton, M., Wang-Mondaca, C., Ismail, S., Supino, J., & Nichols, J. (2021). Importance of quantifying the full-depth carbon reservoir of Jamaica Bay salt Marshes, New York. *City and Environment Interactions*. 12: 100073. DOI: 10.1016/j.cacint.2021.100073.
- Penk, M. R., & Perrin, P. M. (2022). Variability of plant and surface soil carbon concentration among saltmarsh habitats in Ireland. *Estuaries and Coasts*. 45(6): 1631–1645. DOI: 10.1007/s12237-021-01042-w.
- Perera, N., Lokupitiya, E., Halwatura, D., & Udagedara, S. (2022). Quantification of blue carbon in tropical salt marshes and their role in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*. 820: 153313. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153313.
- Raw, J. L., Adams, J. B., Bornman, T. G., Riddin, T., & Vanderklift, M. A. (2021). Vulnerability to sea-level rise and the potential for restoration to enhance blue carbon storage in salt marshes of an urban estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 260: 107495. DOI: 10.1016/j.ecss.2021.107495.
- Rocha, V. M. (2021). Um breve comentário a respeito do IPCC AR6. *Entre-Lugar*. 12(24): 396-403. DOI: 10.30612/rel.v12i24.15253.
- Ruiz-Fernández, A. C., Carnero-Bravo, V., Sanchez-Cabeza, J. A., Pérez-Bernal, L. H., Amaya-Monterrosa, O. A., Bojórquez-Sánchez, S., López-Mendoza, P. G., Cardoso-Mohedano, J. G., Dunbar, R. B., Mucciarone, D. A., & Marmolejo-Rodríguez, A. J. (2018). Carbon burial and storage in tropical salt marshes under the influence of sea level rise. *Science of the Total Environment*. 630: 1628–1640. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.246.
- Soares, M. O., Bezerra, L. E. A., Copertino, M., Lopes, B. D., Barros, K. V. de S., Rocha-Barreira, C. A., Maia, R. C., Beloto, N., & Cotovicz, L. C. (2022). Blue carbon ecosystems in Brazil: Overview and an urgent call for conservation and restoration. *Frontiers in Marine Science*. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.797411.
- Sousa, A. I., Santos, D. B., Silva, E. F. da, Sousa, L. P., Cleary, D. F. R., Soares, A. M. V. M., & Lillebø, A. I. (2017). "Blue Carbon" and nutrient stocks of salt marshes at a temperate coastal lagoon (Ria de Aveiro, Portugal). *Scientific Reports*. 7(1). DOI: 10.1038/srep41225.
- Strong, D. R., & Ayres, D. R. (2013). Ecological and evolutionary misadventures of *Spartina*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 44(1): 389-410. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-110512-135803.
- Xiangzhen, Q., Huiyu, L., Zhenshan, L., Xiang, L., & Haibo, G. (2019). Impacts of age and expansion direction of invasive *Spartina alterniflora* on soil organic carbon dynamics in coastal salt marshes along Eastern China. *Estuaries and Coasts*. 42(7): 1858–1867. DOI: 10.1007/s12237-019-00611-4.
- Yang, D., Miao, X.-Y., Wang, B., Jiang, R.-P., Wen, T., Liu, M.-S., Huang, C., & Xu, C. (2020). System-specific complex interactions shape soil organic carbon distribution in coastal salt marshes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(6): 2037. DOI: 10.3390/ijerph17062037.
- Yuan, Y., Li, X., Jiang, J., Xue, L., & Craft, C. B. (2020). Distribution of organic carbon storage in different salt-marsh plant communities: A case study at the Yangtze Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 243: 106900. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106900.
- Zhang, G., Bai, J., Jia, J., Wang, X., Wang, W., Zhao, Q., & Zhang, S. (2018). Soil Organic Carbon Contents and Stocks in Coastal Salt Marshes with *Spartina alterniflora* Following an Invasion Chronosequence in the Yellow River Delta, China. *Chinese Geographical Science*. 28(3): 374–385. DOI: 10.1007/s11769-018-0955-5.
- Zhang, G., Bai, J., Zhao, Q., Jia, J., Wang, X., Wang, W., & Wang, X. (2021). Soil carbon storage and carbon sources under different *Spartina alterniflora* invasion periods in a salt marsh ecosystem. *Catena*. 196: 104831. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104831.