



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Ecologia, serviços ecossistêmicos e gestão da planta aquática *Typha domingensis*

Pers

Maria Hortencia Borges dos Santos¹, Irlaine Rodrigues Vieira², Roseli Farias Melo de Barros³

¹Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente-DDMA (2020-2024). Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente-MDMA (2018-2020). Atualmente na linha de pesquisa das relações sociedade-natureza e sustentabilidade, desenvolvendo pesquisas sobre os aspectos socioeconômicos e ambientais envolvidos na extração de macrófita aquática (*Typha domingensis* Pers.) utilizada na confecção de artesanato no litoral do Piauí, Nordeste do Brasil.

²Bióloga/UFDPar e Técnica do Herbário HDelta/UFDPar.

³Docente do Departamento de Biologia, do Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Artigo recebido em 21/06/2021 e aceito em 13/02/2022

RESUMO

Typha domingensis Pers tem extensa distribuição geográfica e habitat na Europa, Ásia e Américas. As pesquisas sobre a espécie podem colaborar no gerenciamento de plantas aquáticas. Esta macrófita aquática possui inúmeras utilidades em todo o mundo. Em contrapartida, a sua alta densidade pode resultar em problemas ambientais. Desta forma, realizou-se uma abordagem de revisão sistemática com análises espaciais. Os objetivos do estudo foram: sintetizar as informações existentes sobre ecologia, meio de subsistência e gerenciamento de *T. domingensis* e seus ecossistemas associados e identificar aspectos para direcionar pesquisas em gerenciamento sustentável da espécie. Verificaram-se 172 documentos, destes 155 foram classificados como literatura primária, 15 de literatura secundária e dois de revisão de literatura. Os resultados deste estudo podem ser úteis para pesquisadores, administradores e formuladores de políticas que procuram melhorar a gestão e meios de subsistência sustentáveis, associados aos ambientes aquáticos e seus serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: Taboa, Macrófita, Zonas úmidas

Ecology, ecosystem services and aquatic plant management *Typha domingensis* pers

ABSTRACT

Typha domingensis Pers has extensive geographic distribution and habitat in Europe, Asia and Americas. Research about species can collaborate in the management of aquatic plants. This aquatic macrophyte has numerous worldwide uses. In contrast, it's high density can result in environmental problems. This way, we carried out a systematic review approach with spatial analyzes. The aims the study were: to synthesize the information existing about ecology, livelihoods and management of *T. domingensis* and it's associated ecosystems and to identify aspects to direct research on sustainable management of the specie. We found 172 documents, of which 155 we classified as primary literature, 15 as secondary literature and two as a literature review. The results of this study can be helpful for researchers, administrators and policymakers, who seek to improve the management and sustainable livelihoods, associated with aquatic environments and their ecosystem services.

Keywords: Cattail, Macrophyte, Wetlands.

Introdução

Typha domingensis Pers. é amplamente distribuída nos ecossistemas de zonas úmidas (Baishya, 2020; Curt et al., 2020; Santos et al., 2021) em todo o mundo, e em quase todas as

regiões, exceto as muito frias (Bove, 2020; Bansal et al., 2019).

A dispersão anemocórica das suas abundantes sementes permite a colonização de pântanos distantes e a rápida taxa de crescimento pode resultar em povoamentos monotípicos resistentes (Bansal et al., 2019). Desempenha

papel importante em ecossistemas litorâneos (Soudani et al., 2022), tanto na interface ecológica, quanto cultural e tecnológica (Pelissari et al., 2019) em suas áreas de ocorrência (Bartmeyer et al., 2019).

Possui inúmeras utilidades em todo o mundo (Sesin et al., 2021), atuando ecologicamente na ciclagem e armazenamento de nutrientes para a coluna d'água, participando do sequestro do carbono em ambientes límnicos, na promoção da biodiversidade e fertilidade do solo, como também fornecendo substrato para comunidades perifíticas/bacterianas (Ferreira et al., 2019).

Esta espécie também proporciona matéria-prima para a obtenção de celulose, produção de móveis, forrageio animal, construção civil, controle de nematoides e produção de artesanato (Ferreira et al., 2019; Oliveira; Galhano; Pereira, 2020).

A espécie é empregada em estações de tratamento de esgoto e efluentes por sistemas alagáveis naturais/artificiais e remoção de poluentes de lagos e lagoas (Berry et al., 2017; Rigotti et al., 2021). Em contrapartida, a alta densidade de macrófitas aquáticas pode resultar em problemas ambientais (Trama et al., 2017; Xavier et al., 2021).

Desta forma, a gestão sustentável dos recursos naturais é diversa entre aspectos ecológicos, culturais, econômicos e políticos (Virapongse et al., 2016). Encontrar soluções para os problemas de gerenciamento exige uma abordagem que inclua a avaliação da população de espécies e comportamentos da colheita humana.

As pesquisas sobre *T. domingensis* podem colaborar no gerenciamento de plantas aquáticas invasivas em zonas úmidas e direcionar para a elaboração de planos sobre colheita, manejo, conservação e desenvolvimento sustentável em ecossistemas aquáticos.

Para avaliar as informações atuais de *T. domingensis*, realizou-se uma abordagem de revisão sistemática com análises espaciais. Desta forma, os objetivos do estudo foram: (1) sintetizar as informações existentes sobre ecologia, meios de subsistência e gerenciamento de *T. domingensis* e seus ecossistemas associados e (2) identificar aspectos para direcionar pesquisas em gerenciamento sustentável da espécie.

A abordagem de revisão sistemática usada neste estudo pode ser aplicada por acadêmicos e administradores que buscam melhorar a gestão de espécies vastamente distribuídas e

economicamente úteis, mas, com preocupações de manejo sustentável.

Material e métodos

Coleta de dados

Utilizou-se uma revisão sistemática para coletar, filtrar e sintetizar os documentos contendo informações sobre *T. domingensis*. As revisões sistemáticas são metodologias replicáveis que proporcionam um formato coerente de pesquisar, analisar e descrever bibliografias (Virapongse et al., 2017).

A revisão sistemática foi realizada em 2020, por meio da análise bibliométrica, cujos dados foram obtidos na base do Portal de Periódicos, oferecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e por pares (Google Scholar, Web of Science e Science Direct). Para o mecanismo de pesquisa, analisamos os 100 primeiros retornos gerados a partir das palavras chaves: “Typha”, “*T. domingensis*” e “Typhaceae”.

Distribuição de trabalhos publicados sobre o tema

Utilizou-se uma abordagem qualitativa para sintetizar as informações dos documentos encontrados. Dentro de cada tema (ecologia, meios de subsistência e gestão), as citações foram reunidas para identificar tópicos dominantes. Todos os documentos foram categorizados em revisão de literatura, pesquisa primária e literatura secundária.

A revisão de literatura e pesquisa primária foram definidas como documentos de revistas científicas revisadas por pares (os trabalhos que não indicaram dados originais coletados e utilizados foram classificados como revisão de literatura). A literatura secundária foi definida como documentos de fontes que não sejam revistas científicas revisadas por pares, isto é, não controladas por editores comerciais. Não foram inclusos os documentos sem informações de localização administrativas específicas. Os documentos identificados foram publicados entre 1955 e 2020.

Configuração temática

A revisão direcionou-se para os temas de ecologia, meios de subsistência e gestão de *T. domingensis* no mundo. A ecologia foi definida como o estudo dos processos e fatores que influenciam a distribuição e abundância da espécie, os problemas ambientais e a importância da espécie nos ecossistemas aquáticos.

Os meios de subsistência foram definidos como o papel da *T. domingensis*, para uso direto, produção de bens, valor cultural e meios de subsistência (artesanato, produção de móveis e celulose) entre as pessoas locais, comercialização e extrativismo da espécie, partes utilizadas e manejo da mesma.

O tema sobre o gerenciamento de *Typha* em áreas úmidas foi definido por métodos para manter o controle e função da espécie, bem como nas técnicas de biorremediação, produção de biomassa vegetal, gerenciamento, restauração da espécie em zonas úmidas e gestão de nutrientes, além de verificar as implicações que estes procedimentos podem ocasionar no ambiente.

Foram excluídas as revisões de gerenciamento de recursos naturais que listaram, mas não discutiram a *T. domingensis*, assim como, os estudos paleoecológicos, geomorfológicos de comunidades gerais de plantas e pesquisas florísticas que não se concentraram em *T. domingensis*. Além dos documentos focados na educação formal, pedagogia, estudos

arqueológicos, industrialização de produtos de *T. domingensis*, estudos nutricionais não relacionados ao uso direto da espécie e inventários etnobotânicos que não tratavam especificamente da *T. domingensis*.

Os documentos incluídos no estudo foram: (1) os principais termos e qualificadores de pesquisa evidentes no início da descrição do documento; (2) resumo do documento ou todo o documento (na ausência de um resumo ou resumo do documento) que demonstraram relevância para nossos objetivos de pesquisa; e (3) artigos completos que estavam disponíveis *on-line* ou via coautor.

Os documentos que listaram a *T. domingensis* como parte de uma pesquisa e incluíram pouco contexto e informações sobre a espécie não foram incluídos no estudo. Realizou-se uma avaliação espacial das publicações onde obtivemos o levantamento de 172 documentos, distribuídos sobre as temáticas selecionadas (Quadro 1).

Quadro 1. Estatísticas dos resultados da revisão sistemática em todos os temas (ecologia, meios de subsistência, gestão).

	Total de publicação	Ecologia	Meio de subsistência	Gestão
Total de documentos revisados	172	15	19	138
Tipo de documento				
Literatura Primária	90,1% (n=155)	6,97% (n=12)	7,55% (n=13)	75,58% (n=130)
% do total de documentos				
Literatura Secundária	8,71% (n=15)	0,58% (n=1)	3,48% (n=6)	4,65% (n=8)
% do total de documentos				
Revisão de Literatura	1,19% (n=2)	1,19% (n=2)	0% (n=0)	0% (n=0)
% do total de documentos				
Continentes				
Ásia	17	0	0	17
África	13	1	1	11
Américas	123	12	18	93
Europa	10	1	0	9
Oceania	9	1	0	8

Os documentos localizados apresentavam os limites administrativos (por exemplo, estado ou

município) onde a pesquisa ocorreu. Foram revisados 172 documentos entre artigos, livros,

capítulos, monografias, dissertações e teses. A estratégia utilizada na pesquisa e os critérios da seleção do estudo recuperaram mais documentos sobre pesquisa primária (90,1%) do que a literatura secundária (8,71%) e revisões de literatura (1,19%). O tema gestão foi dominado por pesquisa primária (75,58%), bem como os meios de subsistência (7,55%) e ecologia (6,97%), respectivamente. O tema gestão foi dominado por pesquisa primária (75,58%), bem como os meios de subsistência (7,55%) e ecologia (6,97%), respectivamente.

O que relatam os estudos

Verificaram-se 172 documentos, destes 155 foram classificados como literatura primária (artigo, livro, capítulo), 15 de literatura secundária (monografia, dissertação, tese) e dois de revisão de literatura, com informações de localização suficientes para atribuí-los por tema (ecologia, meio de subsistência e gestão). O número máximo de estudos por continente foi de 52 dentro de um tema e zero para o total de mínimo de documentos encontrados por continente. Na Ásia, Europa e Oceania há ausência de estudos sobre meio de subsistência, como também nenhum registro de pesquisas sobre ecologia na Ásia. Um total semelhante de estudos sobre gestão foi realizado na América do Norte e América do Sul, destacando-se a grande maioria dos documentos na América do Norte.

O mecanismo de revisão sistemática especializado por pares (Google Scholar, Web of Science e Science Direct), evidenciou maior número de publicações nas plataformas Google Scholar (56,39%), seguido por Science Direct (22,67%) e Web of Science (20,94%).

A maioria dos documentos publicados, de acordo com a Qualificação da CAPES, enquadra-se em B1 (20,34%), seguido de A2 (17,44%), A1 (5,23%), B2 e C (4,06%), B3 (1,74%), B4 e B5 (0,58%). Os demais trabalhos encontrados (45,93%) não apresentaram nível de classificação atual. Os Qualis dos documentos foram analisados na plataforma Sucupira (Sucupira, 2016).

Descrição e distribuição da espécie

Typha L. é um gênero circunscrito com 10 a 15 espécies de plantas aquáticas, conhecidas vernacularmente como taboa, sendo caracterizado por sinflorescências com várias flores diclinas (estaminadas e pistiladas), em uma zona fértil terminal, subtendida por um longo pedúnculo ereto, cilíndrico, glabro, com até 3 metros de altura (Carvalho; Mariath, 2019), dispostas em

densos e condensados racemos espiciformes, cilíndricos, apicais, de coloração castanho-avermelhada, espiga contínua ou interrompida, a masculina é mais fina e disposta separadamente e acima da feminina; a inflorescência feminina de formato cilíndrico lembra um grande charuto de cor avermelhada, medindo até 20 cm de comprimento. É uma planta perene, herbácea, paludosa, pertence à família Typhaceae (Ferreira et al., 2019; Bove, 2020).

O caule da espécie é rizomatoso rastejante, grosso, esponjoso, branco e macio, chegando a produzir 7.000kg de rizomas por hectare, que são comestíveis, possuindo valor protéico igual ao do milho (*Zea mays* L.) e de carboidratos igual ao da batata (*Solanum tuberosum* L.). Apresenta folhas longas, acuminadas, dísticas, sem pecíolo, eretas, sem pelos, lisas, grossas, esponjosas internamente, inseridas próximas à base e nervação paralela. A espécie propaga-se por sementes e vegetativamente, há formação de densos agrupamentos monoespecíficos (estandes). O desenvolvimento do estande da espécie depende da propagação dos rizomas nos sedimentos e novos rametes, e o equilíbrio entre a mortalidade e recrutamento determinam a expansão ou declínio da população (Carvalho; Mariath, 2019; Ferreira et al., 2019; Bove, 2020).

T. domingensis é uma espécie emergente, cujos estômatos podem ocorrer em ambas as faces nas folhas (anfiestomáticas) e apresentam grupos de fibras esclerenquimáticas por entre as células do parênquima paliádico, abaixo da epiderme, associados aos feixes (Bove, 2020).

O sistema radicular da *T. domingensis* alcança grande penetração ao solo, devido a sua morfologia em ambientes inundados. A espécie possui aerênquimas com função de facilitar o fluxo de gases principalmente oxigênio, criando condições de oxidação e decomposição da matéria orgânica de forma aeróbica (Carvalho; Mariath, 2019; Bove, 2020).

Muito frequente nas margens de lagos, reservatórios, canais de drenagem e várzeas, pode tornar-se predominante em áreas úmidas por diversos motivos. Dentre eles, a grande estatura da espécie que potencialmente bloqueia a luz solar que de outra forma estaria disponível para vegetação rasteira (Smith et al., 2016).

Resultados

Revisão de literatura: ecologia

A planta aquática *T. domingensis* possui origem retrocedendo a meados do Eoceno na Eurásia oriental (Zhou et al., 2018). A partir desta época diversificou-se e espalhou-se pelo mundo todo (Bansal et al., 2019).

A intensa proliferação de *Typha* em ambientes aquáticos pode resultar em problemas ambientais (Bansal et al., 2019), invadindo desordenadamente corpos hídricos. Na Califórnia, é frequente a expansão da espécie em zonas úmidas (Trama et al., 2017; Bansal et al., 2019). As zonas úmidas do Palo Verde, Califórnia, atualmente estão se recuperando de uma expansão invasora de *T. domingensis*. Um programa de monitoramento foi elaborado para entender os impactos potenciais da espécie na região (Trama et al., 2017).

Nas regiões semiáridas da Oceania, a espécie possui capacidade de suportar flutuações entre as fases de seca prolongada e inundações. Na América do Sul, lida com secas moderadas (Cruz et al., 2019). As mudanças climáticas globais podem resultar na diminuição do abastecimento de água em ambientes terrestres. Contudo, algumas plantas aquáticas, como o vegetal em estudo, são encontradas em locais parcialmente secos (Cruz et al., 2019).

Desempenha um importante papel na dinâmica dos ecossistemas costeiros da América do Sul, devido à sua função no ciclo biológico do carbono destes ambientes, visto que durante o processo de fotossíntese a planta incorpora carbono na sua biomassa, em seguida, a decomposição biológica e respiração devolvem o carbono para a atmosfera na forma de gás carbônico (Ferreira et al., 2019).

T. domingensis poderia ser uma espécie de planta aquática modelo para projetos de sequestro de carbono em ambientes aquáticos (Yu et al., 2017). A espécie também é utilizada no tratamento de efluentes, depuração dos efluentes, promoção da biodiversidade e fertilidade do solo (Berry et al., 2017; Sesin et al., 2021).

Revisão de literatura: meio de subsistência

Typha tem sido importante para os povos indígenas de várias regiões do mundo, principalmente para as populações que utilizam cada parte da planta para uma variedade de utilidades. Esta espécie também pode ser uma fonte de nutrientes para a alimentação do gado e comunidades tradicionais (Reo; Ogden, 2018).

Diversas culturas desenvolveram práticas medicinais usando *Typha*, existem inúmeros tipos de envoltórios com a planta no tratamento de

queimaduras, a espécie contém propriedades anti-inflamatórias (Reo; Ogden, 2018; Bansal et al., 2019).

Outra forma de aproveitamento são os frutos da espécie que podem fornecer a paina de seda para encher travesseiros, almofadas e acolchoados, e a inflorescência para decorações ornamentais e religiosas (Ferreira et al., 2019). Sua fibra é comumente utilizada por diversos grupos de artesãos em várias regiões do mundo (Ferreira et al., 2019). Os bens produzidos são cestos, cordas, sandálias, leques, cabos de lanças, cortinas, tapetes, barcos e objetos de decoração (Bansal et al., 2019).

A extração de rametes verdes e viçosos de *T. domingensis* como fonte de matéria-prima no processo de confecção de produtos artesanais configura-se como uma alternativa de manejo no processo de recuperação dos ambientes aquáticos eutrofizados (Ferreira et al., 2019). Sua coleta realizada por extrativistas brasileiros pode ser considerada sustentável, pois mantém o rizoma intacto, o que permite o rebrote (Ferreira et al., 2019).

O manejo da *T. domingensis* no Pantanal Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica, faz-se necessário para o desenvolvimento de outras espécies vegetais. Do mesmo modo, a extração da espécie nos ambientes limínicos promove a abertura das áreas costeiras e promove a biodiversidade de macro invertebrado, garantindo alimentação para as aves aquáticas (Trama et al., 2017).

Revisão de literatura: gestão

Biorremediação

A biorremediação é um processo de gestão do solo e da água que utiliza organismos biológicos vivos para degradar e remover contaminantes, incluindo escoamento industrial, agrícola, urbano e águas residuais (Berry et al., 2017; Ferreira et al., 2019; Pelissari et al., 2019).

Esse processo tem sido considerado viável em diferentes tipos de contaminações. Em particular, a *T. domingensis* tem sido muito utilizada principalmente para remover metais e nutrientes, em função das taxas de crescimento rápido, capacidade de absorção de metais pesados e tolerância em ambientes contaminados (Berry et al., 2017; Bansal et al., 2019).

A alta taxa de crescimento da biomassa e expansão clonal de *T. domingensis* pode resultar no surgimento de sumidouros (Bansal et al., 2019). Estes “sumidouros de nutrientes” são importantes nos processos de assimilação por

plantas, sedimentação, absorção e estocagem na biomassa microbiana, desnitrificação, adsorção e precipitação. No entanto, as inundações prolongadas podem afetar a capacidade da *T. domingensis* nos sistemas integrados para remover fósforo (Berry et al., 2017).

É uma espécie estudada em diversos locais do mundo. Na Itália, Bonanno e Cirelli (2017) investigaram os níveis de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn, em plantas marinhas e em macrófitas das zonas úmidas, incluindo *T. domingensis*. Do mesmo modo, na África, Fawzy et al. (2016) examinaram *T. domingensis* como um bioissorvente para a remoção de íons Ni (II) e Cd (II) de solução aquosa.

Essa técnica de descontaminação com a utilização de plantas aquáticas para remover poluentes do ambiente ou transformá-los em formas menos perigosas, possui baixo impacto ambiental e baixa relação de custo benefício quando comparada às técnicas tradicionais de bombeamento e tratamento (Omar; Hassan, 2018; Bansal et al., 2019; Camano et al., 2019).

Esta planta aquática é bastante utilizada como autodepuradora no tratamento de efluentes (Rigotti et al., 2021; Soudani et al., 2022) com alta carga orgânica nos sistemas de *wetlands* no Paquistão (Haddaji; Ghrabi-Gammar; Ben, 2019), Alemanha (Saleem et al., 2018), Arábia Saudita (Omar; Hassan, 2018) e Argentina (Camano et al., 2019).

Colheita de biomassa

A produção de biomassa vegetal é um processo relevante relacionado ao funcionamento dos sistemas ecológicos (Sipert; Cohim, 2020). Em relação à produção de matéria orgânica, as macrófitas apresentam valores relativamente altos. Estas plantas podem ser consideradas tão produtivas quanto às comunidades vegetais terrestres (Bartmeyer et al., 2019; Oliveira; Galhano; Pereira, 2020).

A biomassa da espécie é rica em celulose / hemicelulose e possui baixo teor de lignina, uma composição adequada para produção eficiente de bioetanol e, portanto, pode fortalecer a matéria-prima de biocombustíveis (Senai, 2020).

Dentre os bioprodutos derivados da biomassa da espécie destacam-se os produtos de carbonos porosos, provenientes da biomassa da *T. domingensis*. No Irã, estes materiais são básicos para o *design* de muitos dispositivos de armazenamento de energia eletroquímica (Amiri; Golmohammadi, 2019).

A biomassa da planta também se mostra promissora para a produção de bioadesivos (Amiri; Golmohammadi, 2019). Yu et al. (2017) sugeriram que o carbono poroso extraído de *Typha* pode ser usado como um adsorvente e supercapacitor.

Gerenciamento e restauração

O controle de populações de *Typha* em zonas úmidas sempre foi uma preocupação. Os primeiros investimentos de gestão envolveram tratamentos com herbicidas e manipulações do nível de água (Akhtar et al., 2017; Yu et al., 2017; Amiri; Golmohammadi, 2019).

Atualmente, foram realizados estudos para evitar a proliferação de *T. domingensis*. Os testes são diversificados como: corte manual, trituração, cultivo, raspagem, herbicidas, explosivos, fogo, alteração dos níveis de salinidade da água, inundações e secas (Akhtar et al., 2017). Ainda assim, pesquisas em andamento continuam testando vários tratamentos para controlar as extensas populações de *Typha*.

O controle da espécie quando realizado apenas com métodos mecânicos ou químicos é pouco vantajoso devido ao sistema de rizomas que permite a espécie regenerar-se rapidamente (Smith et al., 2016). Além disso, independentemente da técnica de gestão utilizada no controle da espécie, o processo deverá ser repetido inúmeras vezes, já que a espécie cresce rapidamente nas zonas úmidas (Bansal et al., 2019).

Perturbação física

Os processos físicos, como pastagem, esmagamento e cortes são comumente usados para controlar as extensas populações de *T. domingensis* (Smith et al., 2016). Assim como, os barcos de corte de ervas daninhas, tratores aquáticos (Bansal et al., 2019) e equipamentos de agricultura (Smith et al., 2016) são usados frequentemente para remover ou reduzir a biomassa da espécie. A remoção da planta em zonas úmidas amortiza a biomassa acima do solo, reduz o transporte de O² para os rizomas e limita o crescimento da espécie (Smith et al., 2016). Da mesma forma, cortar *Typha* abaixo da água e remover sua biomassa resulta na mortalidade da planta (Bansal et al., 2019).

Recuperação de áreas degradadas

A composição da comunidade vegetal, após a remoção de *T. domingensis*, depende da composição da reserva de sementes viáveis no solo, propágulos e condições ambientais, como,

por exemplo, o regime de nutrientes (Bansal et al., 2019).

Estudos têm mostrado que os bancos de sementes desempenham um papel importante na dinâmica da revegetação de áreas úmidas e que as sementes que compõem estes reservatórios de plantas dos pântanos perturbados podem ser diferentes daqueles de pântanos naturais. Portanto, a adição de espécies herbáceas por plantio e / ou semeadura podem ser necessários para complementar a recuperação natural de plantas nativas (Van Der Valk; Baalman, 2018).

A transferência de solo também se mostrou como uma técnica promissora para a vegetação de pantanal desejada, enquanto inibe a propagação de *T. domingensis* (Bansal et al., 2019). Em termos de avaliar o sucesso dos esforços de restauração ou revegetação, são necessários estudos prolongados em zonas úmidas com a espécie.

Embora haja inúmeras pesquisas sobre *T. domingensis*, ainda há lacunas importantes que precisam ser abordadas, com necessidade de investigações futuras. Com base na análise desse estudo, propõe-se recomendações críticas para o avanço de pesquisa sobre a espécie e seus habitats associados.

Lacunas e recomendações: ecologia

Ainda resta muito a aprender sobre a biologia *T. domingensis* e suas interações ecossistêmicas, bem como os efeitos de mudanças antropogênicas nessas interações. A perda e fragmentação de habitats e as mudanças climáticas são exemplos de alterações ambientais causadas por fatores antropogênicos (Booth, 2018), com consequências diretas sobre a distribuição da espécie (Bansal et al., 2019).

Em linhas gerais, para validar os resultados dos modelos de distribuição da planta, são necessários registros paleoecológicos, principalmente aqueles que ocorreram em temperaturas mais quentes (Fischer et al., 2018), sugerindo que os registros fósseis podem ser mais explorados para compreender as respostas da espécie às mudanças globais. Os resultados desses estudos requerem novas tecnologias, para que se possa adquirir ou aprofundar o conhecimento existente sobre a espécie e auxiliar em sua proteção e conservação (Cruz et al., 2019).

Lacunas e recomendações: meio de subsistência

Investigar o papel de *T. domingensis* nos meios de subsistência é importante em razão de demonstrar um valor mais abrangente para a

espécie, além de melhorar a igualdade socioeconômica e contribuir para o desenvolvimento de um sistema socioambiental mais sustentável. *T. domingensis* possui grande importância econômica em todo mundo, em especial para comunidades extrativistas (Ferreira et al., 2019).

No entanto, poucas são as informações disponíveis sobre as formas de cultivo da espécie e as demandas comerciais. São necessárias mais pesquisas sobre a técnica de colheita, disponibilidade econômica do cultivo e manejo sustentável da espécie para fins comerciais. Recomendam-se estudos sobre as diferentes técnicas de cultivo, a fim de melhorar a sustentabilidade da planta e seus habitats, bem como, garantir o acesso aos produtos da mesma e apoiar sistemas de subsistência, bem como estudos sobre o manejo da espécie.

Lacunas e recomendações: planos e estratégias de gestão

Uma forma de gerenciamento eficaz requer uma boa compreensão dos efeitos de *T. domingensis* no ecossistema. Muitas das lacunas e recomendações já descritas nas seções de ecologia e subsistência são aplicadas para o tópico de gerenciamento. Aqui são identificadas algumas lacunas de conhecimento e recomendações para melhorar o gerenciamento e manejo da espécie e seus habitats.

As formas de gerenciamento de *T. domingensis* envolvem perdas e ganhos. Os cortes realizados da planta abaixo da água são altamente eficazes na redução da espécie, no entanto, isso resulta em altos níveis de mortalidade para outras espécies nativas emergentes (Bansal et al., 2019).

Logo, o uso de herbicida para o controle seletivo da espécie pode diminuir a mortalidade de espécies nativas (Bansal et al., 2019). Contudo, o uso regular de herbicidas também pode levar à resistência a herbicida e propagação de híbridos mais resistentes (Zheng et al., 2017).

Mais pesquisas são necessárias para determinar o controle de *Typha*, especialmente em sistemas onde há dificuldade de controlar o desenvolvimento da espécie. Além disso, as pesquisas de campo avaliando os diversos meios de controle podem revelar estratégias de manejo sustentável.

Fatores relacionados ao desenvolvimento de *T. domingensis* com ênfase em seus efeitos positivos e negativos

T. domingensis propaga-se por sementes e vegetativamente, formando densos agrupamentos monoescíficos (estandes). De um ponto de vista negativo, a alta densidade de macrófitas aquáticas pode resultar em desequilíbrio no ecossistema em decorrência da infestação. Dentre estes problemas ambientais, está o aumento da biomassa do fitoplâncton; crescimento de espécies de algas tóxicas; aumento da frequência de mortandade de peixes; diminuição de peixes e moluscos cultiváveis; redução da diversidade de espécies; redução da transparência da água e depleção de oxigênio dissolvido (Bansal et al., 2019; Ferreira et al., 2019).

Contudo, devido o valor ecológico da *T. domingensis* uma parcela de suas populações deve sempre ser mantida no sentido de preservar os “benefícios ecológicos” proporcionados pela sua existência. A espécie possui importância econômica, social e cultural, uma vez que é usada na gestão de zonas úmidas, tradicionalmente na elaboração do artesanato e na construção de civil (Ferreira et al., 2019; Curt et al., 2020).

Temas transversais

Os resultados desta revisão sistemática revelam que houve progresso na publicação dos aspectos ecológicos, fatores sociais e nas formas de gerenciamento da *T. domingensis*. No entanto, permanecem lacunas sobre o assunto, dificultando a capacidade de compreender e desenvolver melhores formas de gestão para a espécie. Mas há outras lacunas específicas e recomendações para futuras pesquisas. Esses temas são: (1) variabilidade genética de *Typha*; (2) biogeoquímica da espécie.

Variabilidade genética

Os marcadores genéticos morfológicos são a base principal para verificar características desejáveis selecionadas nos genitores para cruzamentos genéticos (Turchetto-Zolet et al., 2017). Embora os marcadores genéticos possuam importância relevante para caracterização mais completa de alelos da macrófita, poucos são os trabalhos disponíveis em bases de dados públicas sobre o tema.

O acesso à variabilidade genética de *T. domingensis* por meio de marcadores de microssatélites possibilita a análise da propagação e hibridização da espécie. Além disso, este método pode ser facilitado por repetição de retrocruzamento para populações da planta (Bansal et al., 2019). Desta forma, o desenvolvimento de pesquisas sobre marcadores

nucleares e citoplasmáticos, bem como sequenciamento do genoma, poderiam esclarecer as relações genéticas de espécies híbridas, banco de sementes e a persistência dos híbridos por longos períodos (Bansal et al., 2019).

Biogeoquímica da espécie

Inúmeras publicações analisam o emprego da macrófita em sistemas de tratamento construídos. Os solos com presença da planta tendem a ter maiores taxas de desnitrificação, bem como mineralização de nitrogênio. No entanto, há poucos estudos sobre o assunto (Bansal et al., 2019).

É fundamental investigações mais precisas para compreender o papel da invasão de *Typha* no equilíbrio do carbono e deste modo contribuir para a otimização dos sistemas de tratamentos e desenvolvimento da espécie em vista dos objetivos finais de tratamento.

Presume-se que há um pequeno número de publicações não relatadas nesta revisão sistemática. Apesar deste déficit, com base nos conhecimentos coletivos e na experiência prática de co-autores, tem-se confiança de que esta revisão enlaça a grande maioria das publicações significativas associadas à *T. domingensis*. Este trabalho reúne e sintetiza atentamente as informações mais importantes disponíveis sobre ecologia, meios de subsistência e manejo da espécie.

Conclusões

Usando uma abordagem de revisão, verificou-se que existem muitas pesquisas disponíveis sobre *T. domingensis*. A espécie oferece assuntos para uma revisão sistemática, já que está amplamente distribuída em todo o mundo e é uma planta aquática importante em relação à ecologia, meios de subsistência e gestão em todas as áreas de sua ocorrência.

O desenvolvimento de estudos e melhores soluções para intensa proliferação da espécie são necessários. As soluções inovadoras para os desafios de gerenciamento podem ser desenvolvidas por meio de comparações nas regiões geográficas de ocorrência, assim como por intermédio de pesquisas multi e interdisciplinares.

A abordagem desta pesquisa fornece um modelo de síntese do conhecimento conduzido para apoiar os esforços sustentáveis de gestão e conservação de outras espécies amplamente distribuídas e economicamente valiosas.

Os resultados deste estudo podem ser úteis para pesquisadores, administradores e

formuladores de políticas que procuram melhorar a gestão e meios de subsistência sustentáveis associados aos ecossistemas aquáticos e seus serviços ecossistêmicos.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), pela disponibilidade dos manuscritos para elaboração do artigo, e a Universidade Federal de Piauí (UFPI), por possuir o aparato essencial para conduzir a pesquisa.

Referências

- Amiri, M., Golmohammadi, F., 2019. Hierarchical structure of 3D graphene derived from biomass for high performance energy storage devices. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 849, (113388)1-1
- Akhtar, N., Hameed, M., Nawaz, F., Ahmad, K. S., Hamid, A., Salcedo, C. S., Shahnaz, M. M., 2017. Anatomical and biochemical sheet adaptations in *Typha domingensis* Pers. ecotypes for salinity tolerance. *Structural Botanical* 95, (4) 807-821
- Bansal, S., Lishawa, S. C., Newman, S., Tangen, B. A., Wilcox, D., Albert, D., Anteau, M. J., Chimney, M. J., Cressey, R. L., Keyser, E., Elgersma, K. J., Finkelstein, S. A., Freeland, J., Grosshans, R., Klug, P. E., Larkin, D. J., Lawrence, B. A., Linz, G., Marburger, J., Noe, G., Otto, C., Reo, N., Richards, J., Richardson, C., Rodgers, L. R., Schrank, A. J., Svedarsky, D., Travis, S., Tuchman, N., Windham-Myers, L., 2019. *Typha* (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management. *Wetlands articles* 39, 645-684
- Bartmeyer, B. C., Oliveira, L. H., S., Coelho, L. H. G. 2019., Comparison of the retention of cadmium and lead in plant tissues of aquatic macrophytes water hyacinth (*Eichhornia* sp.) and cattail (*Typha* sp.) by biosorption and phytoremediation. *Holos Environment* 19, (1) 145-159
- Baishya, S., Banik, S. K., Choudhury, M. D., Talukdar, D., Talukdar, A., 2020. Therapeutic potentials of coastal vegetation: an antifungal perspective. *Biotechnological use of mangrove resources*, p. 275-292
- Berry, P., Yassin, F., Grosshans, R., Lindenschmidt, K-E., 2017. Surface water retention systems for cattail production as a biofuel. *Journal of Environmental Management* 203, 500-509
- Bonanno, G.; Cirelli, G. L., 2017. Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 143, 92-101
- Booth, T. H., 2018. Species distribution modelling tools and databases to assist managing forests under climate change. *Forest Ecology and Management* 430, 196-203
- Bove, C.P., 2015. Typhaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB76478>. Acesso: 20 mai. 2022
- Camano, S. N. E., Maine, M. A., Hadad, H. R., 2019. Effect of the feeding strategy on the performance of a vertical flow humid area on a pilot scale for the treatment of landfill leachate. *Total Environmental Science* 648, 542-549
- Carvalho, J. D. T., Mariath, J. E. A., 2019. Synflorescence morphology of species of *Typha* L. (Typhaceae): anatomical and ontogenetic bases for taxonomic applications. *Acta Botânica Brasileira* 33, (4) 672-682
- Cruz, C. Y., Scarpa, M. A. L., Pereira, M. P., Castro, E. M., Pereira, F. J., 2019. Growth of *Typha domingensis* in relation to leaf physiological and anatomical changes in drought conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 41, (64) 1-1
- Curt, M. D., Aguado, P. L., Martin, M., Martínéz, A., 2020. The resilience of *Typha domingensis* Pers. to nutrient-depleted water in a floating biomass production system. *European Biomass Conference and Exhibition* 28, (1) 1-8
- Fawzy, M., Nasr, M., Adel, S., Nagy, H., Helmi, S., 2016. Environmental approach and artificial intelligence for Ni(II) and Cd (II) biosorption from aqueous solution using *Typha domingensis* biomass. *Ecological Engineering* 1, 743-752
- Ferreira, M. I. P., Barreto, G. S., Lugon-Júnior, J., Silva, J. A. F., Barros, M. P. F., 2019. Engenharia & Ciências Ambientais: contribuições à gestão ecossistêmica. In: Marques, M. C. H., Santos, I. S., Leal, G. F., Barros, M. P. F. *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae): do artesanato à fitorremediação de ambientes aquáticos continentais eutrofizados. *Essentia* 451p
- Fischer, H., Meissner, K. J., Mix, A. C., Abram, N. J., Austermann, J., Brovkin, V., Capron, E.,

- Colombaroli, D., Daniau, A. L., Dyez, K. A., 2018. Palaeoclimate constraints on the impact of 2 °c anthropogenic warming and beyond, *Nature Geoscience* 11, (7) 474-485
- Haddaji, D., Ghrabi-Gammar, Z., Ben Hamed, K., 2019. Wetland built with horizontal recirculating flow for the treatment of synthetic azo dye in high concentrations. *Research in Environmental Science and Pollution* 26, (13) 13489-1350
- Oliveira, E. V., Galhano, F., Pereira, B., 2020. *Actividades agro-marítimas em Portugal*. Lisboa: Etnográfica Press, 236p
- Omar, W. A. M., Hassan, M. M. S. M., 2018. Environmental assessment of a floodplain exposed to pollution in the province of Taif, Kingdom of Saudi Arabia. *Bioscience Research* 15, (4) 3593-3605
- Pelissari, C., Sezerino, P. H., Bento, A. P., Carvalho Junior, O., Decezaro, S. T., Wolff, D. B., 2019. Incorporation of nitrogen and phosphorus in the leaves of *Typha domingensis* Pers. macrophyte during treat dairy cattle wastewater in constructed wetlands. *Environmental Sanitary Engineering* 24, (3) 585-590
- Reo, N. J., Ogden, L. A., 2018. Anishnaabe Aki: an indigenous perspective on the global threat of invasive species. *Sustainability Science* 13,1443-1452
- Rigotti, J. A., Paqualini, J. P., Rodrigues, L. R., 2021. Root growth and nutrient removal of *Typha domingensis* and *Schoenoplectus californicus* during the period of plant establishment in a constructed floating wetland. *Environmental Sciences and International Pollution Research* 28, (7) 8927-8935
- Saleem, H., Rehman, K., Arslan, M., Afzal, M., 2018. Enhanced phenol degradation in wet areas of floating treatment by plant-bacterial synergism. *International Journal of Phytoremediation* 20, (7) 692-698
- Santos, J. C. B., Castro, E. M., Duarte, V. P., Pereira, M. P., Corrêa, F. F., Pereira, F. J., 2021. Root growth and anatomy of *Typha domingensis* Pers. Related to phosphorus availability. *Acta Limnologica Brasiliensia* 1, (33) 1-12
- Sesin, V., Davy, C. M., Freeland, J. R., 2021. Review of *Typha* spp. (cattails) as toxicity test species for the risk assessment of environmental contaminants on emergent macrophytes *Environment Pollution* 1, (1) 284-117105
- Sipert, S.; Cohim, E. B. A Phosphorus Flow Analysis of Brazil. *Environmental Engineering Science*, 37, 148-163, 2020
- Smith, C., Dekeyser, E. S., Dixon, C., Kobiela, B., Little, A., 2016. Effects of sediment removal on prairie pothole wetland plant communities in North Dakota. *Natural Areas Journal* 36, 48-58
- Soudani, A., Gholami, A., Roozbahani, M. M., Sabzalipour, S., Mojiri, A., 2022. Fitorremediação de metais pesados em solução aquosa por *Typha domingensis*. *Ecologia Aqualica*1, (1) 1-13
- Trama, F. A., Viale, F. L. S. R. P., Kumar, A. S., Stynoski, J. L., Colton, M. B. M., Springer, M. C. 2017. The management of *Typha domingensis* (Typhaceae) affects macroinvertebrate assemblages in the Palo Verde Pantanal, Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Restoration*35, (2) 175-189
- Turchetto-Zolet, A. C., Turchetto, C., Zanella, C. M., Passaia, G., 2017. Marcadores Moleculares na Era genômica: Metodologias e Aplicações. *Sociedade Brasileira de Genética*. 181
- Van Der Valk, A. G., Baalman, M. A., 2018. Effects of seed treatments, delayed planting and groundwater levels on the restoration of sedge meadows. *Wetlands* 38, 875-883
- Virapongse, A., Brooks, S., Metcalf, E. C., Zedalis, M., Gosz, J., Kliskey, A., Alessa, L., 2016. A social ecological systems approach for environmental management. *Environ. Manag.* Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.028>. Acesso: 10 jan. 2021
- Virapongse, A., Endress, B. A., Gilmore, M. P., Horn, C., Romulo, C., 2017. *Mauritania's* ecology, livelihoods and management flexo palm tree in South America. *Global Ecology and Conservation* 10, 70-92
- Yu, M., Han, Y., Li, J., Wang, L., 2017. CO₂-activated porous carbon derived from cattail biomass for removal of malachite green dye and application as supercapacitors. *Chemical Engineering Journal* 317, 493-502
- Xavier, J., Mota, H., Meyer, S., Campos, M., Carvalho, M., Carvalho, N., Figueiredo, E., 2021. Macrófitas aquáticas. Caracterização e importância em reservatórios hidrelétricos. *Cemig*. 96p
- Zheng, T., Sutton, N. B., Jager, P., Grosshans, R., Munira, S., Farenhorst, A., 2017. Glyphosate (ab) sorption by shoots and rhizomes of native

versus hybrid cattail (*Typha*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 99, 595-600

Zhou, B., Tu, T., Kong, F., Wen, J., Xu, X., 2018. Revised phylogeny and historical biogeography of the cosmopolitan aquatic plant genus *Typha* (Typhaceae). Scientific Reports 8, 8813.