



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE MEIOAMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MÔNICA PATRINI DE OLIVEIRA BARROS

POTENCIAL DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA FITORREMEDIAÇÃO DA ZONA
COSTEIRA ESTUARINA DO AMAPÁ - BRASIL

MACAPÁ
2022

MÔNICA PATRINI DE OLIVEIRA BARROS

POTENCIAL DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA FITORREMEDIAÇÃO DA ZONA
COSTEIRA ESTUARINA DO AMAPÁ - BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ciências
Ambientais, da Universidade
Federal do Amapá, com requisito
para obtenção do título de
Bacharel em Ciências
Ambientais.

Orientadora: Dra. Luciedi de Cássia Leôncio Tostes

Coorientador: Dr. Roberto Messias Bezerra

MACAPÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

B277 Barros, Mônica Patrini de Oliveira.
Potencial de Macrófitas aquáticas na fitorremediação da zona costeira estuarina do Amapá / Mônica Patrini de Oliveira Barros. - Macapá, 2022.
1 recurso eletrônico. 49 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá,
Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2022.
Orientadora: Luciedi de Cassia Leoncio Tostes.
Coorientador: Roberto Messias Bezerra.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Macrófitas. 2. Fitorremediação. 3. Metais pesados. I. Tostes, Luciedi de Cassia Leoncio, orientadora. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 578.76

BARROS, Mônica Patrini de Oliveira. **Potencial de Macrófitas aquáticas na fitorremediação da zona costeira estuarina do Amapá.** Orientadora: Luciedi de Cassia Leoncio Tostes. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2022.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre estar comigo em todos os momentos e me permitir ir além dos limites que sonhei;

À minha orientadora Dra. Luciedi Tostes pela orientação, apoio, confiança, amizade, respeito, contribuição para minha formação e para a vida;

Ao meu coorientador Dr. Roberto Bezerra pela orientação e suporte à pesquisa;

À Universidade de Brasília pelo suporte à pesquisa;

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi na pessoa da Dra. Alba Lins pelo suporte na confecção dos cortes anatômicos;

À Universidade federal do Amapá pela oportunidade de obter vários tipos de conhecimentos em toda minha trajetória acadêmica;

Ao Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção pelo suporte nas análises de metais pesados;

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA pelo apoio e oportunidade de realização desse trabalho;

Aos meus pais pelo suporte emocional, apoio, abraços carinhosos e amor incondicional;

Ao meu companheiro por toda compreensão, dedicação, amor, e apoio em todos os momentos;

Aos meus irmãos pelo apoio, momentos descontraídos e amor fraternal;

Aos meus sobrinhos por toda ternura, amor, carinho;

Aos meus sogros pelo suporte emocional, apoio à pesquisa e momentos amáveis;

Ao Núcleo Zoneamento Ecológico Econômico do IEPA, na pessoa do Dr. Orleno Marques pelo suporte e confecção dos mapas usados nesse trabalho;

Ao Dr. Salustiano Vilar e Dr. Maurício Abdon pela amizade e apoio;

Ao meu amigo Renato Gaspar pela amizade e suporte durante o trabalho;

À todos que de alguma forma direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

Obrigada.

RESUMO

As macrófitas são espécies de plantas aquáticas capazes de indicarem possíveis contaminações no ecossistema aquático, são de extrema importância, para a manutenção de diversas formas de vida, muitas espécies podem ser encontradas nas zonas costeiras estuarina do Amapá. Por haver o lançamento de esgoto *in natura* e outros poluentes que contém metais pesados, é importante salientar a capacidade dessas espécies de filtrar a poluição do ambiente aquático, elas absorvem partículas de matéria orgânica suspensas no ambiente. É justamente observando essa ação que este trabalho foi realizado visando apresentar dados que comprovem a importância das macrófitas para fitorremediação de ambientes aquáticos. Para tanto, este trabalho teve como objetivo fazer análises de espécies de macrófitas aquáticas e sedimentos para identificar regiões na zona costeira estuarina do Amapá, locais que estejam sofrendo alterações na qualidade do ambiente aquático, por efluentes domésticos e industriais que contenham metais pesados, dessa maneira foram realizadas campanhas amostrais de material botânico e sedimentos, coletando-se uma amostra de macrófita das espécies *Eleocharis interstincta* e *Pontederia cordata* e amostras de sedimento em cada ponto com réplica, para análise de métodos anatômicos, testes histoquímicos, determinação textural dos sedimentos e determinação do teor de metais pesados. A ocorrência de espécies de macrófitas aquáticas também foi analisada, a contaminação por metais pesados, os elementos contaminantes, caracterização dos tipos de sedimentos, sendo predominante sedimento lamoso que possui ótima interação com as macrófitas, além de absorverem metais-traços. Estes foram equiparados com os padrões de qualidade água, Resolução CONAMA nº 357 e sedimentos dragados, Resolução CONAMA nº 454, demonstrando que há contaminação por Cádmio, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco, tanto nos sedimentos quanto nos tecidos radiculares das plantas. Concluiu-se que existe a contaminação por metais pesados, porém ainda de forma inicial, o que possibilita futuros estudos de monitoramentos e gerenciamento, posto que a área mais contaminada é usada para a captação e distribuição de água para a população. Por fim os resultados alerta a sociedade, para que sejam tomadas medidas de mitigação, restauração do ambiente e fitorremediação dos danos causados.

Palavras-chave: Macrófitas, Fitorremediação, Metais pesados, Zona Costeira do Amapá.

SUMÁRIO

Páginas

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	14
2.1 Biorremediação.....	14
2.2 Fitorremediação	15
2.2.1 Técnicas de Fitorremediação	16
2.2.2 Fitorremediação de metais pesados	17
2.2.3 Macrófitas aquáticas	19
2.3 Uso de macrófitas na fitorremediação	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 Geral	20
3.2 Específicos	20
4. METODOLOGIA.....	20
4.1 Área de Estudo.....	20
4.2 Material.....	24
4.3 Métodos anatômicos	24
4.4 Ilustrações.....	25
4.5 Testes Histoquímicos.....	25
4.6 Determinação Textural dos Sedimentos	25
4.7 Determinação do Teor de Metais Pesados.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 Espécies identificadas.....	26
5.2 Hábito e ocorrência no estado do Amapá	28
5.3 Descrição anatômica.....	29
5.4 Análise granulométrica dos sedimentos	36

5.5	Concentração de alguns elementos químicos em macrófitas aquáticas e em sedimentos	37
6.	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos de Fitorremediação	17
Figura 2 - Mapa com as áreas de coleta de plantas aquáticas: região 1 – Arquipélago do Bailique, região 2- Ilha Pedreira; região 3- Orla urbana de Macapá	21
Figura 3 - Arquipélago do Bailique	22
Figura 4 -Aspecto geral do habitat das espécies de <i>Potenderia cordata</i> : Arquipélago do Bailique, Orla Urbana de Macapá	23
Figura 5 - (A) <i>Potenderia cordata</i> e(B) <i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem; Schult	27
Figura 6 - Desenhos esquemáticos feitos com auxilio de câmara clara: A- <i>Potenderia cordata</i> eB- <i>Eleocharisinterstincta</i>	28
Figura 7 - <i>Eleocharis interstincta</i>	29
Figura 8 - Secções transversais de <i>Potenderia cordata</i> , na área o Bailique.....	30
Figura 9 - Secção transversal de <i>P.cordata</i> na área de Macapá	30
Figura 10 - Secções transversais de <i>Eleocharis interstincta</i> , na área do Bailique.....	33
Figura 11 - Secções transversais de <i>Eleocharis interstincta</i> na área de Macapá.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Técnicas de biorremediação.	14
Tabela 2 - Parâmetros de concentração de metais pesados em corpos hídricos	18
Tabela 3 - Parâmetros de concentração de metais pesados em solos dragados de águas doces nacionais	18
Tabela 4 - Principais macrófitas aquáticas da planície costeira lamosa do estuário amazônico, Amapá.....	27
Tabela 5 - Mecanismos de Fitorremediação e compostos tratados	35
Tabela 6 - Classificação textural dos sedimentos nas três regiões em estudo	37
Tabela 7 - Concentração de metais pesados em plantas aquáticas de três regiões ao longo da zona costeira estuarina do Amapá	38
Tabela 8 - Concentração de metais pesados em sedimentos de três regiões ao longo da zona costeira estuarina do Amapá	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição textural dos sedimentos nas regiões estudadas com ocorrência de macrófitas aquáticas.....	37
Gráfico 2 - Distribuição de metais pesados em sedimentos lamosos ao longo do perfil Bailique Macapá.....	41
Gráfico 3 - Distribuição de metais pesados em sedimentos lamosos ao longo do perfil Bailique-Macapá em relação aos parâmetros da resolução CONAMA nº 454/2012	41

LISTA DE ABREVIATÖES

Ae – Aerênquima

C - Cutícula

Cd - Cádmiu

CONAMA – Conselho nacional de Meio Ambiente

Cu – Cobre

Cl- Células lipídicas

Em – Endoderme meristemática

Ep- Epiderme unisseriada

Ex - Exoderme

Fe – Ferro

fe – Substância fenólicas

FAA - Formaldeído, ácido acético e álcool etílico

HAMAB - Herbário Amapaense

Mn - Manganês

Mo - Molibdênio

Ni – Níquel

Pe - periciclo

Pc – Parênquima cortical

Pb – Chumbo

Rl – Raízes laterais

Sv- Sistema vascular

Zn - Zinco

1. INTRODUÇÃO

Macrófita aquática é a denominação utilizada para caracterizar plantas herbáceas que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos (ESTEVES 1998). Elas apresentam várias adaptações morfológicas e fisiológicas que as tornam capazes de colonizar os diversos ambientes aquáticos. Enquanto algumas espécies apresentam-se enraizadas em corpos d'água com fortes correntezas, outras somente podem viver em águas paradas e estagnadas (MARTINS et al. 2002).

A maioria das plantas aquáticas é cosmopolita, sendo distribuídas nos trópicos e subtropicais das Américas (POTT, 2000). No Brasil, apesar de sua grande ocorrência em ecossistemas aquáticos continentais, são poucos os trabalhos de pesquisa, realizados sobre plantas aquáticas, principalmente do ponto de vista ecológico (Esteves 1998; Camargo; Esteves 1995). Na Amazônia, pode-se destacar alguns trabalhos de autores, como Lins; Oliveira(1994); e Lins et al. (2002); Castro, K. C., Sá-Oliveira, J. C.(2007); Pantoja, W.M.F.'; Jesus, C.R. (2015); Alves, M.M.C.'; R.A(2008); Coelho., (2019); Batista., (2019); Silva et al. (2020); Lima et al. (2020); Ganança., (2020); Santana, Dos santos, Mitsuka., (2021). Dentre os estados amazônicos, o Amapá ainda apresenta poucos inventários florísticos (THOMAZ et al. MELO et al., 2004). Contudo, as espécies de macrófitas presentes no Amapá são citadas na Lista atualizada de macrófitas aquáticas da região norte do Brasil (MOURA JÚNIOR et al. 2015). Trabalho de bastante relevância com o propósito de inventariar as diversas espécies de macrófitas tanto do Amapá quanto de toda região norte.

As macrófitas aquáticas constituem a principal comunidade de produção de biomassa no ecossistema aquático, ou seja, são componentes de extrema importância para a manutenção das diversas formas de vida presentes neste ambiente. São utilizadas também como bioindicadoras da qualidade da água, podendo fornecer informações sobre as condições de um ecossistema, como, por exemplo, valor de pH ou a concentração de metais pesados no solo, ou sedimento. Certas espécies vegetais respondem às alterações ambientais, com o surgimento de poluentes, desaparecendo ou se multiplicando (ESTEVES; THOMAZ;BINI, 1998; POTT; POTT,2000).

Macrófitas aquáticas também têm sido empregadas na despoluição de ambientes aquáticos, produção de biomassa para alimentação de gado, fertilizantes de solo e de tanques de piscicultura (ESTEVES 1998; PEDRALLI 2000; GOMES .et al 2015). Por serem capazes de realizar a fitorremediação.

Embora apresentem grande importância ecológica, o crescimento excessivo das macrófitas aquáticas é indesejável por comprometer os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos. Em vários países, o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas tem trazido inúmeros problemas, como o impedimento da navegação, a facilidade para o criatório de mosquitos e caramujos transmissores de doenças, como malária e esquistossomose, e a redução da concentração de oxigênio no meio (ESTEVES 1998).

Em reservatórios, os maiores problemas decorrentes da colonização por macrófitas podem estar associados à utilização da água para recreação, ao aumento de evapotranspiração, e à obstrução ou redução do fluxo de entrada de água nas turbinas de hidroelétricas (THOMAZ; BINI 1999). Várias plantas aquáticas têm sido estudadas e sugeridas como alternativas para solução destes problemas. Dentre elas, o (aguapé) (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), que apresenta elevada capacidade de absorver e tolerar elevadas quantidades de íons de metais pesados (FAWZY, 2016). Outra espécie que apresenta potencial de uso em estudos relacionados à poluição aquática por metais pesados é a salvinia (*Salvinia auriculata* Aubl.), potencialmente interessante na indicação de contaminação de sistemas aquáticos com metais pesados (NEGRÃO; SOUZA; BUTIK., 2021). No Amapá a família que apresenta grande número de espécies é a Cyperaceae devido o tipo de substrato e por serem perenes, se adaptando aos períodos de redução da coluna d'água (CASTRO. K.C. 2009).

Estudos da comunidade de macrófitas da Orla de Macapá e Santana são extremamente importantes, já que, como salientado por Cook (1990) e por Thomaz; Bini (1999). As macrófitas são usualmente sintomas e não causas de problemas. Aliada à ação antrópica, a intensa dinâmica costeira na costa amapaense também é responsável por mudanças na paisagem, como erosão da linha de costa, destruição da vegetação aquática, deposição de sedimentos lamosos e até pela instalação de vegetação aquática em bancos lamosos.

As características bióticas dos ecossistemas costeiros encontram-se associadas aos tipos de substratos. No setor costeiro estuarino do Amapá, ao longo da margem esquerda do rio Amazonas, as macrófitas ocupam boa porção da planície lamosa. É, justamente esse tipo de sedimento lamoso que é mais propício à contaminação por metais pesados, como já demonstrado por Lacerda (1982) e Lacerda et al. (1982), em estudos realizados em áreas sob pressão ambiental. Representam, portanto, um estoque permanente de contaminação para a fauna e a flora aquática.

O objetivo deste trabalho foi apresentar, o conhecimento sobre a distribuição e caracterização morfo-anatômica do sistema radicular das espécies de *Pontederia cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem; Schult no ambiente de planície de maré (praias lamosas), relacionando a anatomia do sistema radicular com sua capacidade de retenção de metais pesados provenientes de atividades antropogênicas, além de sua relação com os sedimentos.

2 RERERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Biorremediação

Os problemas de contaminação do ar, água superficial, subterrânea e solo por compostos químicos tóxicos são um dos maiores problemas associados às questões ambientais atuais. Existe uma necessidade crescente de cuidar e remediar esses locais, nesse sentido há o interesse de desenvolver tecnologias novas que enfatizem a remediação dos locais poluídos usando uma abordagem não convencional (BOOPATHY, 2000). Um exemplo de nova tecnologia empregada para o fim de descontaminação de ambientes é a biorremediação que pode ser assimilada como a combinação de processos biotecnológicos avançados para atenuar os problemas gerados pela contaminação do ambiente (AQUINO, 2012).

Há uma variedade muito ampla de técnicas de biorremediação desenvolvidas ultimamente (LYNCH, 2005) algumas delas estão descritas na tabela 1.

Tabela 1- Tabela de técnicas de biorremediação

Método	Princípio
Atenuação natural	Existência de organismos capazes de degradar os contaminantes no local contaminado.
Bioaugmentação	Inoculação de um ambiente contaminado por microrganismos pré-selecionados como altamente específicos para a mitigação do contaminante.
Bioestimulação	Adição de nutrientes que estimulam o crescimento e desenvolvimento de microrganismos locais, aumentando a atividade

metabólica, elevando assim a degradação.

Biolixiviação	Microrganismos específicos como <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> e <i>T. thiooxidans</i> promovem a solubilização de metais.
Bioventilação	Aeração do solo para remover os compostos voláteis fisicamente e estimular a atividade degradadora no ambiente contaminado.
Compostagem	Decomposição aeróbia de contaminantes orgânicos pelo uso de microrganismos termofílicos.
Fitorremediação	Uso de plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes da água e do solo.
Landfarming	Ocorre no solo não contaminado pela aplicação e incorporação de um contaminante.

Fonte: Adaptado de Kavamura e Esposito, 2010.

2.2 Fitorremediação

A fitorremediação (fito: planta e remediar: corrigir) é uma das mais novas tecnologias que vem utilizando plantas para corrigir ou imobilizar contaminantes presentes no solo e água. A remediação utilizando plantas tem sido considerada uma das mais inovadoras, por possuir um baixo custo em relação às outras técnicas já usadas em áreas com contaminações (USEPA, 2000).

A técnica de fitorremediação pode ser usada para controlar os mais variados poluentes,

como derivados de petróleo, compostos organoclorados, herbicidas, metais pesados, pesticidas entre outros. Algumas vantagens da fitorremediação são o baixo custo de investimento e aplicação, geração mínima de resíduos, degradação e desestabilização do meio ambiente contaminado (CHAVES et al., 2010). Outros benefícios que são relevantes no processo de fitorremediação são manutenção e melhoria da estrutura física, da fertilidade e da diversidade biológica do solo, além da dispersão e diminuição da absorção dos metais pesados do solo (KHAN et al., 2000).

2.2.1 Técnicas de Fitorremediação

Há inúmeros meios pelos quais as plantas, podem remediar compostos tóxicos, tais fitoextração, fitoacumulação, fitodegradação, fitoestabilização, fitovolatilização, rizofiltração. As divisões em categorias advém da habilidade da planta que realizará o processo de remediação (SUSARLA et al., 2002).

A fitoextração ocorre quando a planta apresenta capacidade de acumular contaminantes em sua parte aérea, sem degradá-los (GARBISU; ALKORTA, 2001). O processo de fito extração é feito da seguinte maneira: as espécies são plantadas e posteriormente colhidas, com o intuito de deixar o local livre de contaminantes. O material colhido pode ser ou não reaproveitado. Se não for reaproveitado o material será incinerado e enviado para a disposição final adequada em locais como aterros (ANDRADE et al., 2007).

A volatilização baseia-se na utilização de plantas para volatilizar poluentes como, por exemplo o mercúrio e o selênio (GARBISU; ALKORTA, 2001). É necessário ser cauteloso, pois existe o risco das plantas liberarem concentrações muito elevadas de contaminantes na atmosfera (ANDRADE et al., 2007). Pode-se citar como exemplos de espécies a *Brassica napus* e *Medicago sativa* (USEPA, 2000)

O mecanismo fitoestabilização minimiza a migração de contaminantes nos solos, já que há uma redução do transporte de contaminantes pela absorção (SUSARLA et al., 2002). As espécies que geralmente são usadas são *Haumaniastrum caeruleum* e *Eragrostis barelieri* (DEMARCO, 2019).

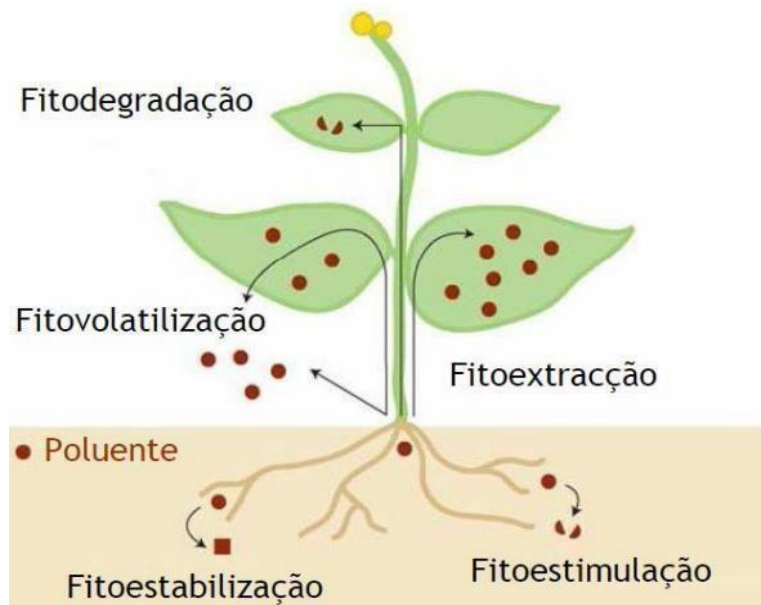
A fitodegradação acontece quando a planta e seus ,metabólitos degradam compostos sem a interferência de organismos externos (USEPA, 2000). Algumas espécies usadas nesse processo são *Salix chrysocoma*, *Populusnigra*, *Populus deltoides* e *Festuca arundinacea* (DEMARCO, 2019).

Segundo Prasad;Freitas (2003), a rizofiltração é um processo que se baseia na concentração e absorção de metais nas raízes das plantas e é aplicada na remediação de meio ambientes aquáticos, já que as plantas de fitorremediação acumulam mais metais nas raízes.

Para Pilon-Smits (2005) algumas fitotecnologias fazem uso de diversas propriedades das plantas e diferentes espécies são utilizadas para cada uma. No geral as plantas favoráveis a fitorremediação são aquelas que crescem rápido, pois elas possuem elevada produção de biomassa competitiva, resistentes e tolerantes à poluição. Algumas características como altos níveis de absorção. Translocação e acúmulo em tecidos cultiváveis são importantes para a fitoextração de compostos orgânicos. Já para a fitodegradação as plantas mais favoráveis são aquelas que possuem o sistema de raízes grandes e densos, de raízes e elevados níveis de enzimas degradadoras. Pois, uma grande área da superfície da raiz vem a favorecer a fitoestimulação, já que promove o crescimento microbiano.

Os referidos mecanismos possivelmente usados na fitorremediação estão ilustrados na figura 1.

Figura 1- Processos de fitorremediação



Fonte: PILON-SMITS,2005

2.2.2 Fitorremediação de metais pesados

Os metais pesados são encontrados na natureza sem qualquer interferência humana em diferentes concentrações, na maioria dos casos derivam do teor do elemento na rocha de origem e do grau de intemperização que esse material sofreu. Contudo, argumenta também que o uso

de metais pesados em diferentes fases de diferentes processos produtivos e sua disposição final inadequada pode aumentar as concentrações desses elementos no meio ambiente (ANDRADE et al. 2007).

A afirmação acima pode ser comprovada por King (1996), pois na época de sua pesquisa já afirmava que os metais pesados contaminam o meio ambiente não pelo seu uso, mas sim pela disposição de rejeitos industriais, extração e processamento inadequado de minérios, além de uso de fertilizantes, pesticidas e disposição de lodos de estação de tratamento de efluentes urbanos e industriais.

Os metais pesados mais estudados em mecanismos de fitorremediação são Pb, Cd, Cr, Hg. Além dos micronutrientes Cu, Zn, Fe, Mn, Ni e Mo (Zeitouni, 2003) Os elementos estudados nessa pesquisa são Cd, Cu, Ni, Pb e Zn.

Ressalta-se que a resolução CONAMA nº 357 de 2005 evidencia valores a serem usados como referência para a concentração desses elementos em corpos hídricos, esses estão descritos na tabela 2. E a Resolução CONAMA nº 454 de 2012 aponta os valores que são usados como referência para a concentração de metais pesados em solos dragados das águas doces nacionais, descritos na tabela 3.

Tabela 2- Parâmetros de concentração de metais pesados em corpos hídricos

Parâmetro	Concentração
	____mg L ⁻¹ _____
Cd	0,001
Cu	0,009
Ni	0,025
Pb	0,01
Zn	0,18

Fonte: Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

Tabela 3- Parâmetros de concentração de metais pesados em solos dragados de águas doces nacionais

Parâmetro	Concentração
	_____mg/_____
Cd	0,6
Cu	35,7
Ni	18
Pb	35
Zn	123

Fonte: Resolução CONAMA nº 454 de 2012.

2.2.3 Macrófitas aquáticas

Plantas cujas partes fotossintetizantes ficam permanente ou sazonalmente submersas, ou flutuantes na água são conhecidas como plantas aquáticas (Cook, 1996). Macrófitas aquáticas são vegetais que durante sua evolução retorna ao ambiente aquático, são altamente capazes de se adaptarem a amplitude ecológica (JESUS et al.2015).

As aquáticas bem como outros microorganismos associados e as respectivas enzimas podem ser usados por técnicas para reter, imobilizar ou degradar os contaminantes até que estes cheguem a níveis não-tóxicos, de modo a recupera-se a matriz do solo da água para que se estabilize o contaminante e isto é a definição de fitorremediação (JESUS et al.2015).

Conforme afirma Esteves (1998), as macrófitas aquáticas são classificadas, em geral, quanto ao seu biótipo devido à heterogeneidade filogenética e taxonômica desses vegetais. Tal classificação reflete diretamente no grau de adaptação das espécies no meio aquático.

2.3 Uso de macrófitas na fitorremediação

As macrófitas apresentam a possibilidade de serem empregadas como meio para reduzir a concentração de compostos orgânicos, metais pesados, fosfato e compostos nitrogenados, essa possibilidade já era muito discutida no período do estudo conduzido por Esteves (1998). Contudo, antes desse período Seidel (1966) conduziu vários anos de pesquisa, sendo a pioneira nesse meio, demonstrando que *Scirpus lacustris*, uma macrófita emersa conseguia absorver excessos de compostos orgânicos, entre eles o pentaclorofenol. Tal composto tem se demonstrado bastante tóxico para bactérias, fungos, algas e insetos. Neste sentido a

concentração de metais pesados encontrados em plantas aquáticas pode ser mais 100.000 vezes maior em relação ao local onde ela está situada (MANGABEIRA et al. 2006).

Vale ressaltar que o potencial de fitorremediação de macrófitas aquáticas em condições naturais foi estudado por diferentes pesquisadores (RAI, 2009). Um estudo realizado por Vardanyan; Ingole (2006), possibilitou o entendimento da relevância das macrófitas no que diz respeito ao acúmulo de metais pesados, para isso, no estudo foram coletadas 45 exemplares de macrófitas, de 8 famílias e estudadas para estimar a concentração de 14 metais diferentes. Dessa maneira houve constatação da alta relevância das macrófitas aquáticas para a remoção de diferentes metais do ambiente para que dessa maneira possa reduzir os efeitos causados pelas concentrações desses elementos. Aumentando a proteção e a recuperação da comunidade de macrófitas que foram citadas para manter a qualidade do meio ambiente do local estudado.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Caracterizar o potencial de macrófitas na fitorremediação de metais pesados em sedimentos da zona costeira estuarina do Amapá.

3.2 Específico

- Apresentar a distribuição e caracterização morfo-anatômica do sistema radicular das espécies de *Pontederia Cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult;
- Relacionar a anatomia do sistema radicular com sua capacidade de retenção de metais pesados;
- Caracterizar capacidade das espécies de retenção de metais pesados provenientes de atividades antropogênicas e a sua relação com os sedimentos;
- Detectar a presença de metais pesados nos sedimentos associados às macrófitas aquáticas.

4 METODOLOGIA

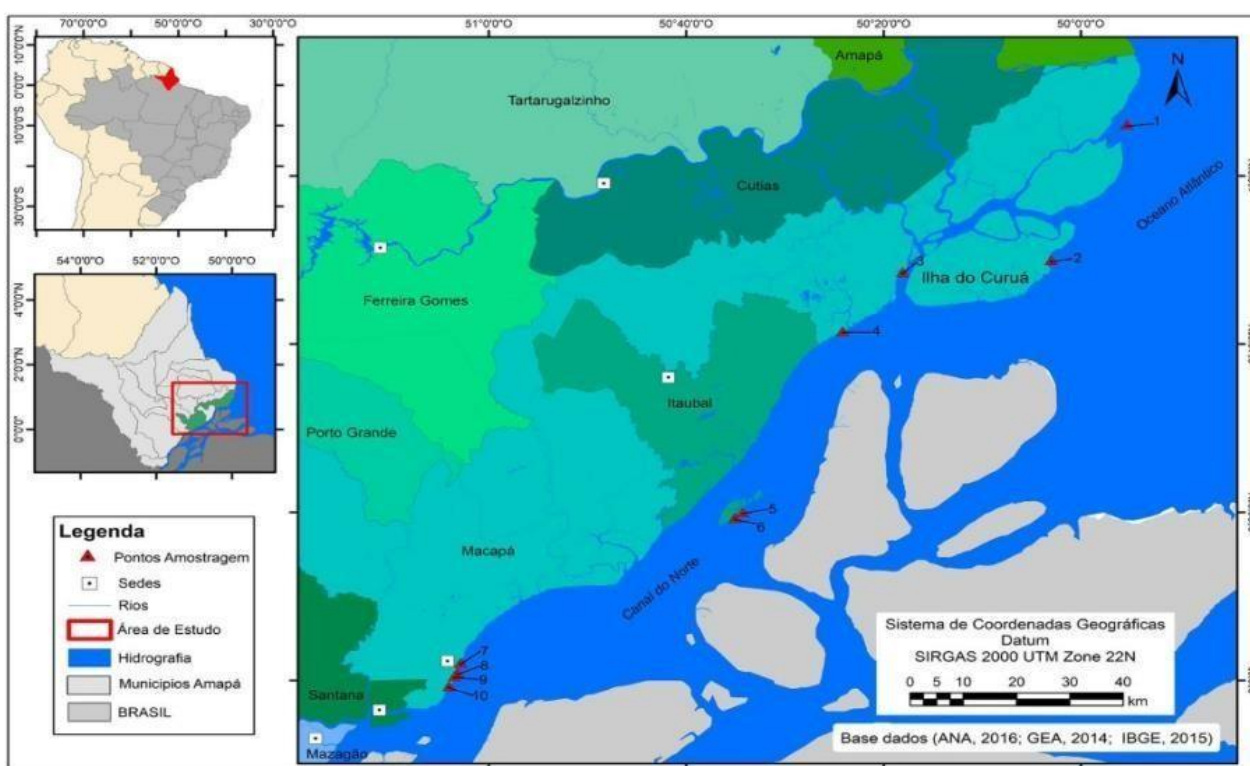
4.1 Área de estudo

A zona costeira estuarina do Amapá corresponde geograficamente à região que se estende da foz do rio Jarí até a foz do rio Araguari. Compreende uma faixa terrestre dos municípios de Vitória do Jarí, Mazagão, Santana, Macapá, Itaubal e Cutias. É uma região de mesomarés e, fortemente dominada pelas correntes do Canal do Norte do rio Amazonas. A costa

é dominada por sedimentos, recentes, predominantemente lamosos, depositados pela ação das correntes e inundações.

O presente trabalho se refere a três regiões da zona costeira estuarina amapaense: Arquipélago do Bailique, Ilha Pedreira e a Orla Urbana de Macapá. As duas primeiras regiões ficam distantes de Macapá por cerca de 150 km e 60 km, respectivamente. (Figura 2).

Figura 2- Mapa com as áreas de coleta de plantas aquáticas: região 1 – Arquipélago do



Bailique, região 2- Ilha Pedreira; região 3- Orla urbana de Macapá.

Fonte: IEPA/ZEE

A região 1, o Arquipélago do Bailique, situa-se mais próximo à foz do Canal do Norte do rio Amazonas, podendo ser influenciado, parcialmente, pelas correntes oceânicas. O arquipélago é composto por sete ilhas principais (Curuá, Brigue, do Meio, Faustino, Franco, Bailique e Parazinho), cortadas por canais estuarinos. O arquipélago se encontra com baixa degradação ambiental, por ocupação populacional (estimada em 13.000 habitantes) dispersa no entorno das ilhas. (Figura 3).

Figura 3- Arquipélago do Bailique



Fonte: BARROS. O.P.M

A região 2 (Ilhas Pedreira) é de formação fluvial, gerada a partir da deposição de sedimentos do rio Amazonas, colonizada por vegetação pioneira na porção a jusante, parte tipicamente deposicional, enquanto a vegetação de várzea de alto porte coloniza a porção a montante, o qual sofre processo de erosão intenso. A população dessas ilhas é de somente algumas famílias.

A região 3 corresponde a Orla Urbana de Macapá, composta pelo canal do Jandiá, Igarapé das Mulheres, Praça Zagury, Rampa de Santa Inês, Araxá e Praia do Aturiá. Em 2002 a população urbana de Macapá era de 522.357 habitantes e somente 7% dessa população era servida de esgoto sanitário e 62% servida de água potável (IBGE, 2021). Essas áreas têm sofrido nos últimos anos uma forte degradação ambiental, por acentuada ocupação populacional de seu entorno, atividades portuárias, intensa circulação de embarcações e lançamento de efluentes domésticos e comerciais, direto no Canal Norte do rio Amazonas. Em alguns trechos da orla, uma grande quantidade de lixo, associada às plantas aquáticas, compromete a qualidade das águas fluviais e pode representar riscos à saúde humana (Figura4).

Figura 4- Aspecto geral do habitat das espécies de *Potenderia cordata*: Arquipélago do Bailique (fotos da parte superior), Orla Urbana de Macapá (fotos da parte inferior)



Fonte: BARROS. O.P.M

Foram realizadas duas campanhas amostrais para coletas de plantas aquáticas e sedimentos associados, em três regiões da zona costeira estuarina amapaense (Figura 2).

Região 1: arquipélago do Bailique- Pontos 1 a 4;

Região 2: ilhas Pedreira- Pontos 5 e 6; e

Região 3: área urbana de Macapá- Pontos 7 a 10.

4.2 Material

Foram coletados exemplares adultos e férteis das espécies de macrófitas aquáticas em bancos lamosos e/ou arenosos do Canal do Norte do rio Amazonas. As áreas de ocorrência dessas espécies variam de 0 a 5 metros de profundidade e ficam totalmente submersas durante a maré cheia. Todas as coletas e pontos coletados foram georreferenciados através de um GPS. Após identificação, as amostras foram incorporadas ao Herbário Amapaense-HAMAB.

Para a análise de metais pesados foram selecionadas as espécies *P. cordata* e *E. interstincta*, devido a maior ocorrência nas áreas. As amostras de raízes das espécies selecionadas de plantas aquáticas foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em freezer até o processamento.

As amostras de sedimentos superficiais, nos locais de ocorrência das espécies mais abundantes, também foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em freezer até o processamento.

4.3 Métodos anatômicos

As espécies escolhidas para análise morfológica e destinadas aos estudos morfo-anatômico foram *P. cordata* e *E. interstincta*. No laboratório, as espécies estudadas foram lavadas, medidas, onde foram separados e identificados os sistemas radiculares de cada uma. Posteriormente, as amostras foram colocadas em frascos com álcool 70% para conservação e fixação. Para estudo anatômico, foram mostradas as seguintes regiões: região apical (região ainda protegida pela coifa), região mediana e região distal da coifa.

Para análise anatômica, as regiões das raízes foram seccionadas transversalmente a mão livre com auxílio de lâmina de barbear, em seguida, clarificadas com solução de água destilada e hipoclorito de sódio 1:1. Após lavadas, foram coradas com Astrablau e Fucsina Básica 1% (BRAGA 1977). Posteriormente, montou-se lâminas com glicerina (PURVIS *et al.* 1964, in KRAUSS 1997) ou desidratada em série alcoólica crescente de 50% até 100% e acetato I a acetato puro, montada lâminas semipermanentes, nesse caso, com o Bálsamo do Canadá. Para a realização de cortes transversais e longitudinais com auxílio do micrótomo rotativo, secções do material estudado foram retiradas do fixador FAA 70%, desidratadas pela série crescente, de 2 horas, da solução alcoólica até acetato puro, seguido de emblocação em parafina e cortes dos blocos com o micrótomo, secagem das lâminas em estufa, série decrescente de acetato puro a álcool 50%, coloração em Astrablau e Fucsina Básica 1%, série crescente de álcool 50% o acetato puro e montagem em lâmina e lamínula com Bálsamo

do Canadá (JOHANSEN 1940); observações das secções documentação em fotomicroscópio de luz Zeiss com filme Kodak ASA 100.

4.4 Ilustrações

Desenhos esquemáticos referentes às raízes de *P. cordata*. e *E. interstincta* foram elaborados em microscópio com câmara clara acoplado a Lupa Zeiss em diferentes aumentos e escala micrométrica. Posteriormente, os desenhos foram colocados em nanquim, onde complementaram os estudos anatômicos, assim como as fotomicrografias realizados no microscópio de luz, em diferentes aumentos e escala micrométrica, onde foram fotografadas e ampliadas nas mesmas condições ópticas utilizadas.

4.5 Testes Histoquímicos

Para os testes histoquímicos foram realizadas secções de material, obtidos à mão livre, com auxílio de lâmina de barbear. As paredes cutinizadas, suberizadas e lipídeos foram analisadas com Sudan IV (JENSEN, 1962) ; a mucilagem foi empregado solução aquosa de vermelho de rutênio a 0,02%, (JENSEN, 1962); o amido visualizado com iodeto de potássio iodado; solução saturada de ácido pícrico para proteínas (JOHANSEN, 1940); solução de cloreto férrico para compostos fenólicos (JENSEN, 1962); azul de astra para celulose (GERLACH, 1977); safranina a 0,05% para lignina (GERLACH, 1977).

As secções foram temporariamente montadas em água ou glicerina e fotografadas em fotomicroscópio de luz Zeiss, filme Kodak, Asa 100.

4.6 Determinação textural dos sedimentos

A determinação granulométrica das amostras de sedimentos superficiais (substrato de alojamento das macrófitas) foi baseada na metodologia descrita por Suguio (1973), obtendo-se no peneiramento a úmido as frações areia (fração > 63 µm) e silte + argila (fração < 63 µm), secas em estufa a 80 °C por 24 horas. A denominação textural para os sedimentos seguiu a classificação de FOLK et al. (1970).

4.7 Determinação do teor de metais pesados

O material vegetal (raíz) foi seco a 40 °C, moído e submetido á mineralização por via úmida (usando-se uma mistura nítrico-perclórica) para determinação dos teores de metais pesados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn).

Para as determinações das concentrações de metais pesados nos sedimentos, as amostras

(fração granulométrica total) foram previamente secas a 60 °C, para posterior dissolução em uma combinação dos ácidos nítrico e perclórico.

A solução remanescente das amostras de macrófitas e sedimentos foram filtrados em membrana qualitativa, analisada a concentração de Cd, Cu, Ni, Pb e Zn em espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer mod. 603 com forno de grafite, da UNB.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Espécies identificadas

As espécies encontradas na região 1, Arquipélago do Bailique, foram *Eleocharis elegans* (H.B.K.), *Eleocharis interstincta* (Vahl), *Eleocharis nudipes* (Kunth), *Rhynchospora velutina* (Kunth), *Cyperus giganteus* (Kunth), *Eichinodorus paniculatus* (Micheli), *Paspalum repens* (Berg.), *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia auriculata* (Aubl.), *Pistia estratiotes* (L.), *Potenderia cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult. Estas duas últimas espécies estavam presentes em todos os pontos da região 1.

Na região 2, Ihas Pedreiras, identificou-se *Eleocharis interstincta* (Vahl), *Eleocharis nudipes* (Kunth), *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia auriculata* (Aubl.), *Pistia estratiotes* (L.), *Potenderia cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult, sendo que as duas últimas espécies estavam presentes em todos os pontos da região 2. As espécies coletadas e identificadas na região 3, Orla Urbana de Macapá, foram *Potenderia cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult. Portanto, as espécies presentes nas três regiões e diretamente relacionadas com variações de maré foram *Potenderia cordata* L. e *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult

(Figura 5A e B; Tabela 4).

Figura 5- (A) *Potenderia cordata* e (B) *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem; Schult



Fonte: Google

Geralmente estas plantas emergentes têm distribuição concêntrica em alguns trechos da costa estuarina do Amapá. Constituem aquele grupo de espécies que vivem submersa, na preamar, mas conseguem sobreviver enraizadas na planície de maré sobre sedimentos argilo-siltosos, em ambiente de baixa dinâmica, durante o período de baixamar.

Tabela 4: Principais macrófitas aquáticas da planície costeira lamosa do estuário Amazônico Amapá

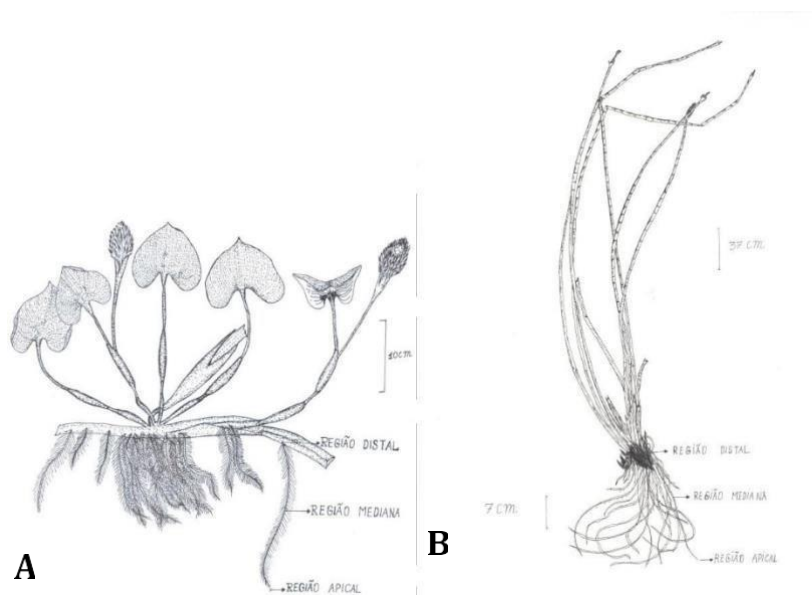
Família	Gênero/ Espécie	Nome vernacular	Tipo ecológico	Tipo de substrato
PONTEDERIACEAE	<i>Pontederia cordata</i>	aguapé; muréré, orelha de veado	emergente	lamoso
CYPERACEAE	<i>Eleocharis interstincta</i>	cebolinha aquática	emergente	lamoso

Considerando a identificação de macrófitas aquáticas fitoremediadoras no Estado do Amapá pode-se comparar os resultados encontrados neste trabalho aos encontrados por Thomaz et al. (2003) no inventário florístico realizado nas áreas de ressaca do Estado, mais precisamente nas bacias do Igarapé da Fortaleza e Rio Curiaú.

5.2 Hábito e Ocorrência no Estado do Amapá

- *Pontederia cordata* L. syn: *P. lancifolia* Muhl., *P. lanceolata* Nutt (Tabela 4; Figura 6A).

Figura 6 - Desenhos esquemáticos feitos com auxílio de câmara clara: A- *Pontederia cordata* e B- *Eleocharis interstincta*



Fonte: TOSTES. L.C.L

Pertence à família Pontederiaceae, denominada popularmente de aguapé, sendo uma erva aquática emergente, rizomatosa, perene, de 25 a 98 cm de altura, conforme o ambiente; folha estreita (var. *lancifolia*) ou larga de base cordata (var. *cordata*); floresce na estação das chuvas em grande parte do ano onde houver umidade. Esparsa a freqüente em borda de lagoas e vazante, substrato arenoso ou argiloso, com distribuição ampla, neotropical.

No Estado do Amapá são distribuídas em ambientes predominantemente inundados, semelhante às áreas estudadas, sempre formando populações isoladas ou associadas com vários gêneros como *Eichhornia* e *Eleocharis*. São descritas até o momento apenas uma espécie para o Estado do Amapá: *Pontederia cordata* L. Como descrito também por Lins et al.(2002).

Figura 7 - *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult



Fonte: Google

Pertence à família Cyperaceae Juss, denominada de cebolinha aquática, com hábito de erva aquática, emergente, cespitosa, rizomatosa, perene, de 40 a 80 cm de altura. Abundante em áreas de substrato arenoso, com distribuição em toda a América do Sul.

Em toda a zona costeira estuarina amapaense ocorre sobre sedimentos lamosos (silte a silte arenoso). No Estado do Amapá estão descritas quatro espécies: *Eleocharis elegans* (H.B.K.), *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult, *Eleocharis nudipes* (Kunth), *Eleochari sminima* (Kunth). Que também são ocorrentes em outros lugares da região norte como descrito por Junk; Piedade. (1993) em seu trabalho que inventariou a diversificada comunidade herbácea aquática dos arredores de Manaus.

5.3 Descrição anatômica

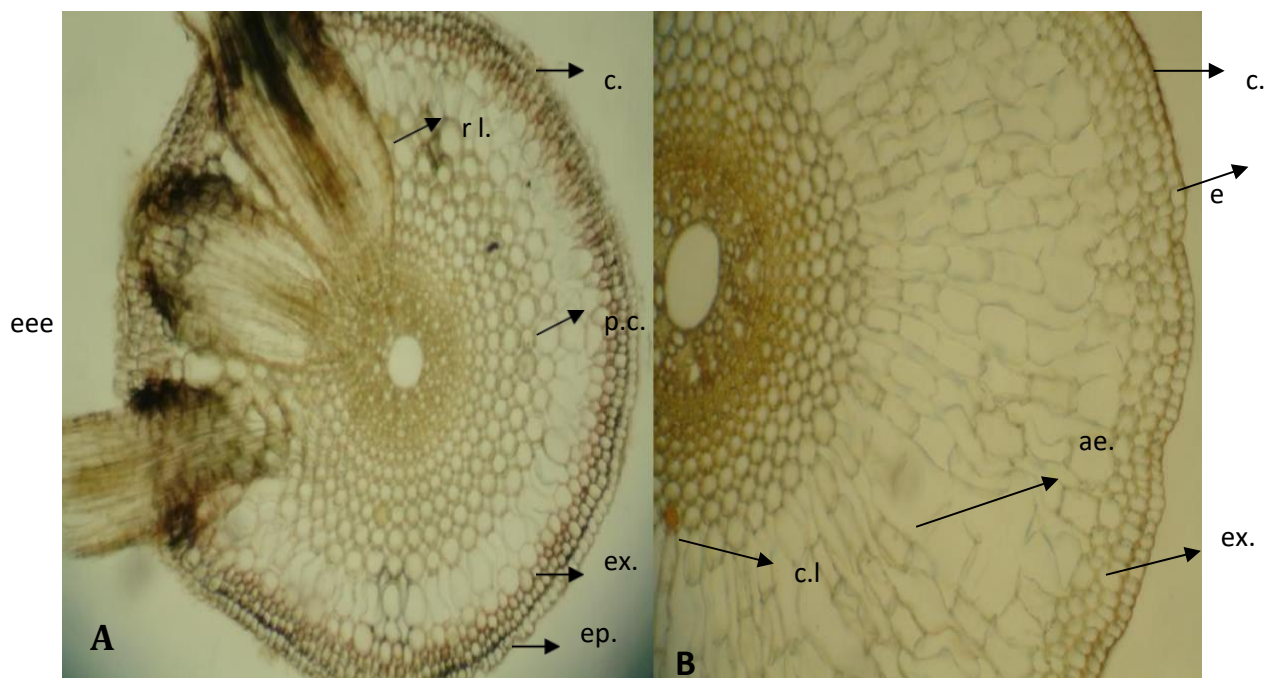
▪ *Pontederia cordata*

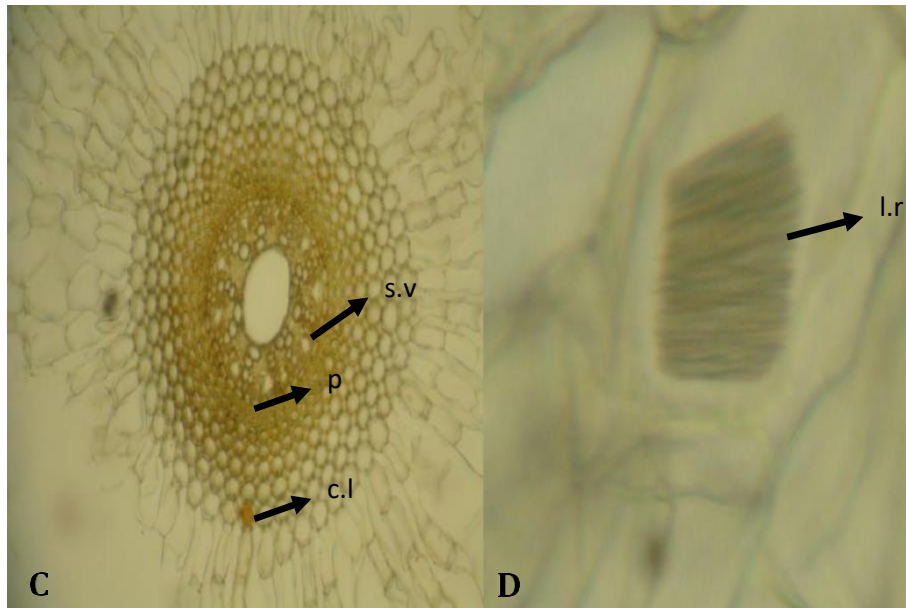
Tanto na região 1 (arquipélago do Bailique) quanto na região 2 (Ilhas Pedreira) a *P. cordata* ocorre sobre substrato lamoso e encharcado. Foram realizadas secções transversais do ápice da raiz, ainda protegida pela coifa, onde determinamos as seguintes camadas: cutícula espessada com uma camada epidérmica apresentando pêlos radiculares, constituídas por células de parede delgada. Logo abaixo, evidenciamos duas a três camadas de células curtas e longas formando a exoderme. As paredes das células são delgadas, sendo revestidas

por lignina. As células curtas distribuem-se aleatoriamente entre as células longas.

Nesse estágio de desenvolvimento a parênquima cortical, ainda está sendo formado, por sucessivas divisões anticlinais e periclinais das células meristemáticas que formam a camada endodérmica. As células corticais estão dispostas em fileiras radiais, formando entre si espaços intercelulares. Já evidencia-se a formação de pequenas lacunas dispostas radialmente, a medida que ocorre o desenvolvimento da raiz. Nesse estágio, o periciclo já está sendo formado, porém os elementos vasculares, ainda estão indiferenciados (Figura 8A).

Figura 8- Secções transversais de *Potenderia cordata*, na área o Bailique: A-ápice da raiz, ainda protegido pela coifa, onde evidenciamos: cutícula espessada (c.), epiderme unisseriada (ep.), exoderme(ex.), parênquima cortical (p.c.) em formação por sucessivas divisões das células meristemáticas, formação de raízes laterais (r.l.) do periciclo (p); B-região mediana com cutícula, epiderme (ep), exoderme (ex) e aerênquimas em formação; C-região mediana:





Fonte: BARROS. O.P.M

Em secções transversais da região mediana, à medida que o sistema radicular adventício se desenvolve, permanecem as mesmas características da epiderme e exoderme descritas na região apical, porém o córtex é constituído por grandes lacunas de ar disposto radialmente, denominado aerênquimas formados pelo processo esquizógeno. Essas lacunas são separadas por septos unisseriados, com células de paredes retangulares, levemente irregulares separados entre si por espaços intercelulares. A endoderme é uniestratificada, formada por células achatadas e espessadas por lignina. O cilindro vascular é representado por um periciclo unisseriado. O sistema vascular ainda está em formação, os elementos do xilema, metaxilema e protoxilema diferenciam-se gradativamente, enquanto o floema encontra-se reduzido (Figura 8B).

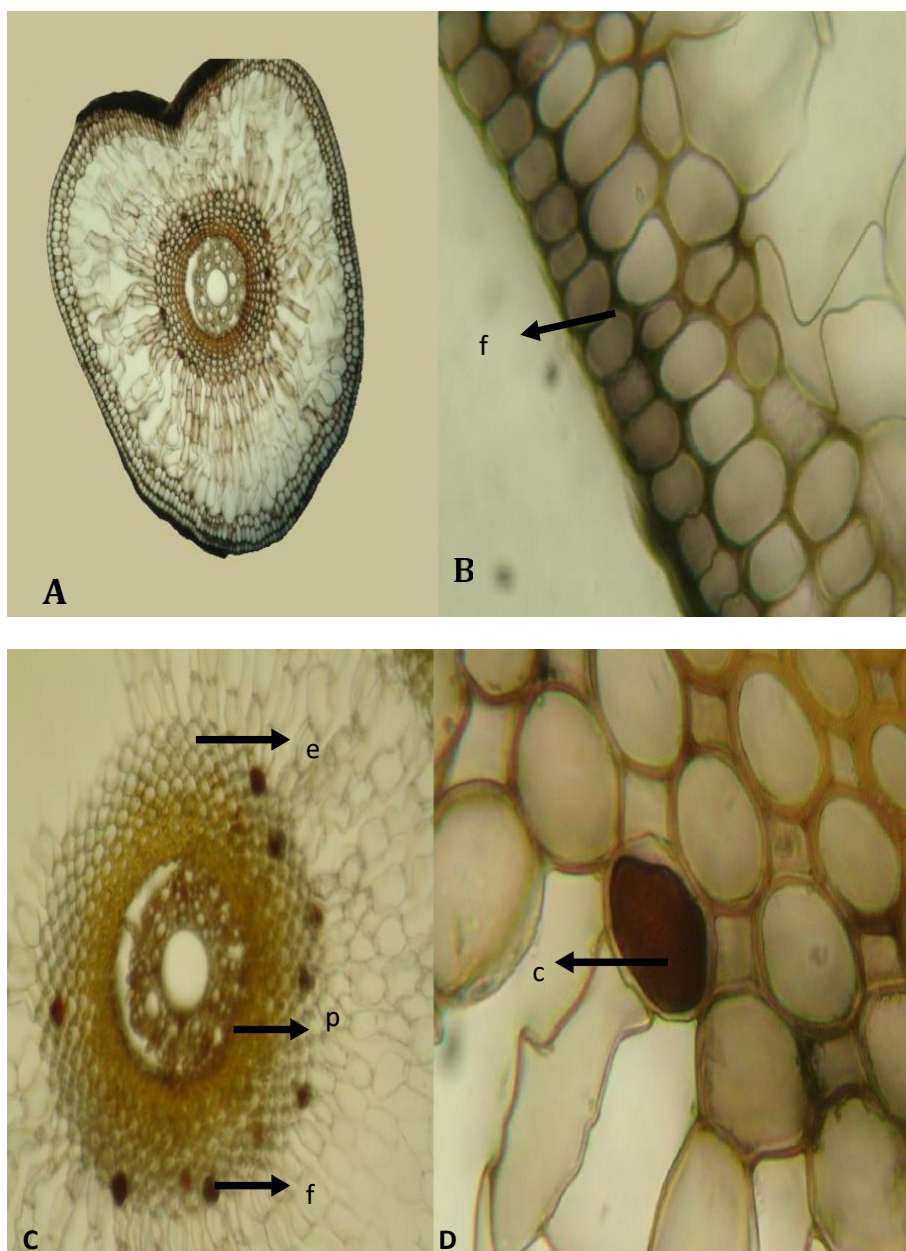
Na região distal da coifa, em secções transversais, todos os tecidos encontram-se

semelhantes à região mediana, contudo o córtex já se formou completamente, ocorrendo somente a presença de poucos idioblastos de ráfides e poucos lipídios em espécies coletadas na Ilha Pedreira (Figura 8D). O sistema vascular desenvolveu-se com a formação do protoxilema e metaxilema, intercalados por metafloema e protofloema reduzido (Figura8C).

Na região 3 (Orla Urbana de Macapá- Canal do Jandiá, Rampa do Santa Inês, Praça Zagury), a *P. cordata* ocorre sobre substrato lamoso e por vezes arenoso, seco e com presença de resíduos de compostos orgânicos. Na região apical da coifa, mediana e distal, em cortes transversais, o tecido radicular apresenta as mesmas características descritas para o Arquipélago do Bailique, porém tanto na epiderme e exoderme ocorre a presença de suberina impregnando

as paredes (anticlinais) e (periclinais) das células de revestimento, além da grande quantidade de substâncias fenólicas presentes entre as células (Figura 9A e B). Na região cortical ocorre também a presença de grande quantidade de lipídios no interior das lacunas, além de substâncias fenólicas entre as células (Figura 9 C e D).

Figura 9 - Secção transversal de *P.cordata* na área de Macapá: a-vista geral da região mediana; B-detelhe da cutícula (c.), epiderme (ep), exoderme (ex.), substancias fenólicas (fe); C-detelhe da endoderme meristemática (en.), presença de células lipídicas (cl.), periciclo (pe) esubstâncias fenólicas (fe); D-detelhe uma célula lipídica (cl.)

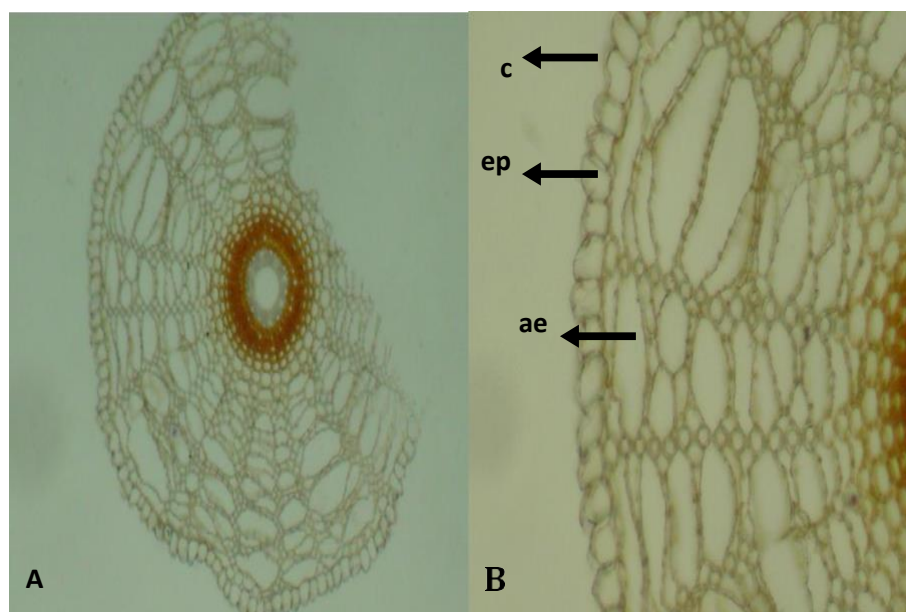


Fonte: BARROS. O.P.M

▪ *Eleocharis interstincta*

Tanto na região 1 (arquipélago do Bailique quanto na região 2 (Ilhas Pedreira) a *E. interstincta* ocorre sobre substrato lamoso. Foram realizadas secções transversais do ápice da raiz, região da coifa, onde verificamos a presença de uma cutícula fina com uma camada epidérmica, constituída por células altas com paredes (anticlinais) e (periclinais) finas. Logo abaixo, a parênquima cortical, formado por células parenquimáticas, já se encontra em formação, por sucessivas divisões das células meristemáticas da endoderme. Algumas células corticais estão dispostas em fileiras radiais, formando entre si lacunas de ar, denominadas aerênquimas, os quais são formados pela separação das paredes celulares. Nesse estágio, o periciclo já está formado, porém, os elementos vasculares, ainda estão indiferenciados. Em secções transversais da região mediana, à medida que ocorre o desenvolvimento do sistema radical, o córtex se desenvolve mais, através da formação de seus aerênquimas, separados por fileiras de células parenquimáticas dispostas radialmente (Figura 10A e B).

Figura 10 - Secções transversais de *Eleocharis interstincta*, na área do Bailique: A-vista geral da região mediana mostrando aerênquimas (ae), e o sistema vascular (s.v.); B-detelhe da cutícula (c), epiderme (ep.) e aerênquimas (ae.).



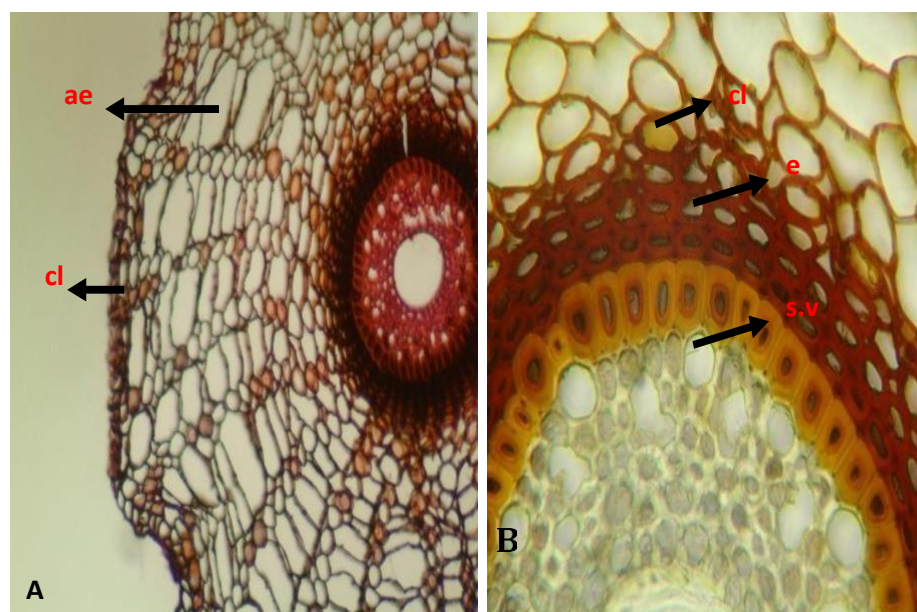
Fonte: BARROS. O.P.M

A endoderme meristemática é formada por várias camadas de células com paredes (anticlinais) e (periclinais) lignificadas, presença de estrias de caspary. O cilindro vascular é formado por um periciclo unisseriado, com paredes celulares impregnadas delignina/suberina.

O sistema vascular ainda está em formação, os elementos do xilema e floema diferenciam-se gradativamente (Figura 10B). A região distal da coifa, encontra-se semelhante a região mediana.

Na região 3 (Orla Urbana de Macapá - Canal do Jandiá, Rampa do Santa Inês, Praça Zagury), a *E. interstincta* ocorre sobre substrato lamoso. O tecido radicular apresenta as mesmas características anatômicas descritas para as espécies do Arquipélago do Bailique, em qualquer região descrita. Porém, ocorrem a presença de grande quantidade de células lipídicas e substâncias fenólicas entre as células distribuídas em todos os tecidos (Figura 11A). No periciclo unisseriado, as paredes celulares estão impregnadas fortemente de lignina/suberina. No sistema vascular ocorre a presença em grande quantidade de substâncias fenólicas nas paredes celulares (Figura 11B).

Figura 11 - Secções transversais de *Eleocharis interstincta* na área de Macapá: A-vista geral da região mediana evidencia a presença de células lipídicas (l), aerênquimas (ae.); B-detalhado sistema vascular (s.v.), endoderme meristemática (en), detalhe de uma célula lipídica(l.).



Fonte: BARROS. O.P.M

Os resultados demonstram que as macrófitas aquáticas absorvem os compostos encontrados nos sedimentos e corpos hídricos onde estão inseridas, dessa maneira pode ocorrer a fitorremediação, através dos mecanismos que as espécies de macrófitas podem apresentar, como fitoacumulação, fitodegradação, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização e rizofiltração. Cada mecanismo vai depender dos contaminantes e capacidade das plantas.

A tabela 5 demonstra essas informações.

Tabela 5 - Mecanismos de Fitorremediação e compostos tratados

Tipo	Compostos químicos que são tratados por cada técnica de fitorremediação
Fitoacumulação / fitoextração	Cádmio, cromo, chumbo, níquel, selênio, zinco e outros metais traço, radionuclídeos, BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno exileno).
Fitodegradação /fitotransformação	Explosivos(DNT,HMX,nitrobenzeno,nitroetano,nitrometano,nitrotolueno, ácido pícrico, RDX, TNT) antrazina, solventes clorados, (clorofórmio, tetracloreto de carbono, hexacloroetano,tetracloreto, tricloroetano, dicloroetano, cloreto de vinila, tricloroetanol, dicloroetanol, ácido tricloroacético, ácido dicloroacético, ácido monocloroacético, tetraclorometano triclorometano), DDT, brometo de metila, tetrabromoetano, tetracloreto; outros pesticidas clorados e fosforados; bifenilas policloradas (PCB), fenóis e nitrilas.
Rizodegradação	Hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), BTEX, pesticidas, solventes clorados, pentaclorofenol (PCP), PCB, surfactantes.
Fitoestabilização	Metais traço, fenóis e solventes clorados.
Fitoestimulação	HAP, BTEX; outros hidrocarbonetos derivados do petróleo; antrazina; alaclor; PCB; tetracloreto, tricloroetano e outros compostos orgânicos.
Fitovolatilização	Solventes clorados (tetracloreto, triclorometano e tetraclorometano); mercúrio e selênio.
Rizofiltração	Metais traço, compostos orgânicos, radionuclídeos.

Fonte: Susarla et al. (2002); USEPA (2000), ITRC (2001)

As macrófitas tem demonstrado grande importância mundialmente por apresentarem eficiência na remoção de poluentes como metais-traços, radionuclídeos, explosivos e poluentes orgânicos e inorgânicos (DHIR et al., 2009).

As concentrações de metais pesados em plantas aquáticas podem ser 100,00 vezes maiores que o encontrado na água ou no meio em que estão. A distribuição dos metais pesados capturados pelas plantas podem ter efeitos no tempo de residência desses metais nas plantas e em seu uso para a fitorremediação (MANGABEIRA et al., 2006).

Estudos vêm demonstrando a importância das macrófitas aquáticas por sua capacidade de remover metais pesados da água, para tornar o meio em que vivem mais saudável, e esse mecanismo tem sido observado pela comunidade científica, que através de estudos realizados em áreas alagadas naturais têm se observado que as concentrações de poluentes são várias vezes superiores ao encontrado na água, o que comprova a hiperacumulação de metais em macrófitas aquáticas, não sendo tão incomum quanto em plantas terrestres e que é possível se desenvolver estratégias de biorremediação baseando-se nessas características (PAULO; PRATAS, 2008).

No entanto, para que esses mecanismos que as macrófitas aquáticas dispõem se torne uma tecnologia economicamente viável precisam-se de mais prospecção, pois plantas ideais para fitorremediação precisam possuir rápido crescimento, ter alta produção de biomassa, possuir extensos sistemas radiculares e ser de fácil manejo e acima de tudo tolerar e acumular determinadas concentrações de metais pesados em partes que possam ser colhidas (YANG et al., 2005).

Nesse sentido busca-se realizar pesquisas mais aprofundadas dentre a biodiversidade de macrófitas aquáticas que possam ser viáveis para o tratamento de efluentes contaminados com metais pesados.

5.4 Análise granulométrica dos sedimentos

Os sedimentos do Canal do Norte do rio Amazonas estão amplamente distribuídos em toda a planície costeira da área de estudo. A análise granulométrica dos sedimentos apontou que eles são compostos predominantemente por lama (silte + argila), variando de 84% a 98% (Tabela 6). Segundo a classificação de Folk et al. (1970) são classificados predominantemente como silte a silte arenoso, podendo ser encontrada ainda concentrações de areia. Observa-se a semelhança dos resultados encontrados nesse estudo com os de Reis; Silveira; Santos (2011), onde salientaram a predominância do silte nas zonas estuarinas do rio sucunijú.

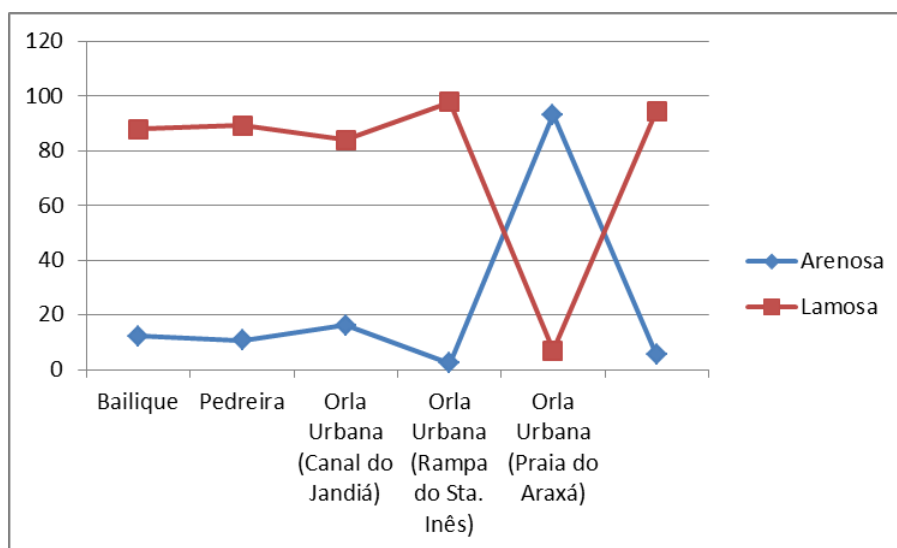
Nas áreas mais vegetadas, esses sedimentos geralmente são mais finos e ricos em matéria orgânica, como é o caso da região da orla urbana na área da rampa do Santa Inês que apresenta 98% de lama (Tabela 6). Apenas na praia do Araxá foi encontrado sedimento tipicamente arenoso, apresentando somente 7% de fração lamosa (Tabela 6). Contém grânulos e seixos provenientes de aterros de estrada, que foram erodidos e espalhados por ação de maré ao longo da praia do Aturiá.

Tabela 6- Classificação textural dos sedimentos nas três regiões em estudo

Fração Granulométrica (%)	Bailique	Pedreira	Orla Urbana Canal do Jandiá	Orla Urbana Rampa do Sta. Inês	Orla Urbana Praia do Araxá	Torres (1997)
Arenosa	12,2	10,8	16,1	2,3	93,1	5,5
lamosa	87,8	89,2	83,9	97,7	6,9	94,5
Classificação Textural	Silte arenoso	Silte arenoso	Silte arenoso	Silte	Areia	Silte

Um perfil entre a região 1 (Arquipélago do Bailique) para a região 3 (Orla Urbana de Macapá) mostra a predominância de sedimentos lamosos, apresentando uma pequena variação na percentagem de finos (lama). Comparando estes resultados com aqueles obtidos por Torres (1997), verifica-se que os dados são representativos para a área em estudo (Tabela 6).

Gráfico 1 - Distribuição textural dos sedimentos nas regiões estudadas com ocorrência de macrófitas aquáticas



5.5 Concentração de alguns elementos químicos em macrófitas aquáticas e em sedimentos.

Os resultados das concentrações de metais pesados em macrófitas aquáticas e sedimentos, nas três regiões amostradas, são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

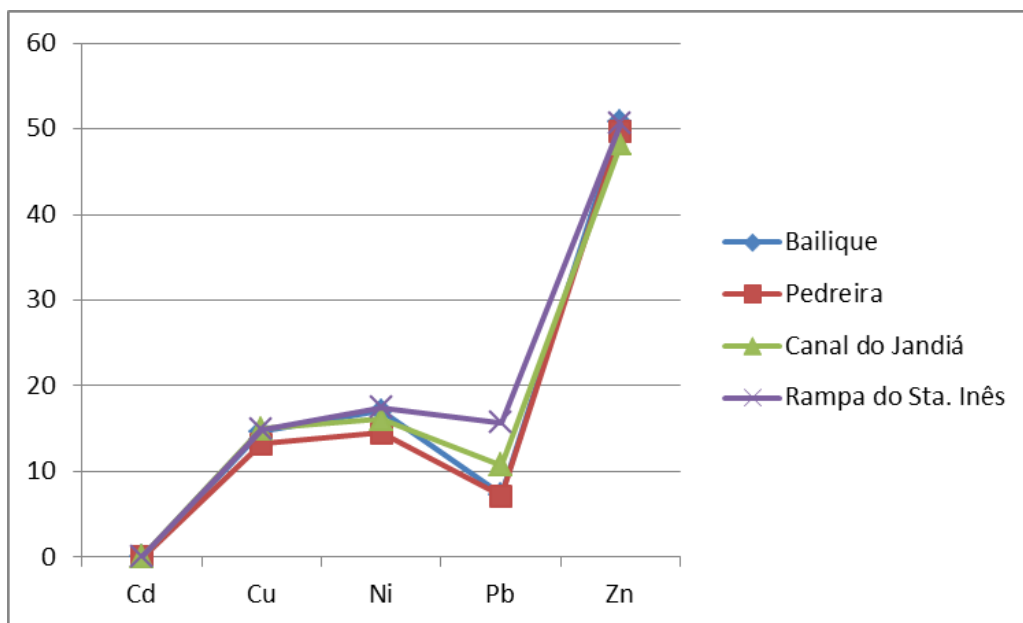
Em geral, a concentração de metais pesados em macrófitas aquáticas segue o seguinte trend: Zn > Ni > Cu > Pb > Cd. Conforme pode ser observado na tabela 6 e na figura 11, as maiores concentrações de Zinco e Níquel são encontrados na região 3: orla urbana de Macapá. Os metais pesados interferem diretamente no crescimento, distribuição e ciclo biológico das espécies vegetais. Uma planta tolerante a metais pesados é identificada quando é capaz de sobreviver em ambientes com elevadas concentrações desses compostos (HALL et al. 2002).

A capacidade de sobreviver em um ambiente contaminado por metais pesados pode ser adquirida ao longo do tempo, por meio da adaptação aos estresses do meio ambiente, dessa maneira as espécies possuem diferentes maneiras de manifestar tais adaptações aos compostos que polui o ambiente onde ela está inserida, outro fator que pode intervir na sobrevivência dessa planta é o tipo de elemento contaminante e as condições da área (SOUZA et al. 2013).

Tabela 7 - Concentração de metais pesados em plantas aquáticas de três regiões ao longo da zona costeira estuarina do Amapá

Região	1	2	3	3
Ponto	1	5	7	10
Elemento (mg/kg)	Bailique	Pedreira	Orla Urbana Canal do Jandiá	Orla Urbana Rampa do Sta. Inês
Cd	0,02	0,01	0,06	0,07
Cu	14,7	13,2	15,0	14,9
Ni	17,1	14,5	16,1	17,5
Pb	7,3	7,1	10,7	15,7
Zn	50,8	49,7	48,2	50,6
Espécie vegetal	<i>Eleocharis nudipes</i>	<i>Pontederia cordata</i>	<i>Pontederia cordata</i>	<i>Eleocharis interstincta</i>

Gráfico 2 - Distribuição de metais pesados em plantas aquáticas emergentes que ocorrem sobre substrato lamoso, ao longo do perfil Bailique-Macapá



O gradiente de poluição dos metais pesados foi investigado por Negrão; Souza; Butiket. (2021) em uma nascente d'água no parque municipal das Araucárias, município de Guarapuava, PR, e determinaram a biodisponibilidade de zinco, na água, sedimentos e macrófitas, afirmando que havia contaminação com metais pesados, bem como apresentando no presente trabalho.

Vale ressaltar que há uma ausência de plantas no ponto da Orla do araxá devido ser um local onde há ocorrência de fortes e constantes ondas que acabam arrastando as plantas com a força da maré. O que explica a dificuldade de obtenção de material botânico da área (Observação de campo). Observa-se que as maiores concentrações encontradas nas plantas coletadas foram Cobre e Níquel, sabe-se que as concentrações de cobre em tecidos vegetais varia entre a espécie e seus órgãos, a maioria das plantas tende a acumular cobre em maiores concentrações nas suas raízes por sua mobilidade ser baixa e possuir forte ligação com tecidos radiculares, como de macrófitas aquáticas (KABARA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

A análise do conteúdo de metais pesados em sedimentos (Tabela 8) revelou que os sedimentos da zona costeira estuarina também são mais ricos em zinco, níquel e cobre. Os valores analisados serão comparados com os valores de prevenção disponíveis na Resolução CONAMA N° 454/2012 que dispõe de valores orientadores da qualidade do solo dragado em

águas sob jurisdição nacional.

Um perfil entre a região 1 (Bailique) para a região 3 (Orla Urbana de Macapá) apresenta a variação dos elementos metálicos avaliados neste estudo. Nota-se um leve aumento de chumbo e cádmio em direção à cidade de Macapá (Figura 10). Esta pequena variação pode estar relacionada a maiores atividades humanas na orla urbana de Macapá. Em comparação com os teores em macrófitas da região, verifica-se teor mais expressivo de metais em sedimentos.

Os metais pesados não são elementos biodegradáveis e permanecem por longos períodos no meio aquático, isto é, grande parte se acumula nos sedimentos (COTTA; REZENDE; PIOVAN, 2006). Diante do risco que as altas concentrações de metais pesados podem oferecer à biota aquática existem estudos para estabelecer guias que possam nortear a qualidade dos sedimentos, que são chamados valores guias da qualidade dos sedimentos (MACDONALD; INGERSOLL; BERGER, 2000).

A incidência de metais pesados nos sedimentos é estudada de várias formas, pois os sedimentos podem receber elementos contaminantes, por fertilização, aplicação de agrotóxicos ou pesticidas, esses elementos presentes no solo podem ser lixiviados e levados para os corpos hídricos dessa maneira se acumulando nos sedimentos (GIMENO-GARCIA et al. 1996).

Tabela 8 - Concentração de metais pesados em sedimentos de três regiões ao longo da zona costeira estuarina do Amapá.

Elemento (mg/kg)	Bailique	Pedreira	Orla Urbana Canal do Jandiá	Orla Urbana Rampa do Sta.Inês	Orla Urbana Praia do Araxá	Resolução CONAMA n° 454/2012
Ponto	1	5	7	9	10	
Cd	0,1	0,07	0,3	0,5	0,01	0,6
Cu	20,07	15,93	22,09	21,93	15,30	35,7
Ni	26,21	19,19	23,50	23,81	21,10	18
Pb	15,98	13,24	22,27	23,87	13,62	35
Zn	86,03	69,75	79,40	80,05	76,55	123

Classificação Textural	Silte arenoso	Silte arenoso	Silte arenoso	Silte	Areia	Silte
Fração lamosa (%)	87,8	89,2	83,9	97,7	6,9	94,5

Gráfico 2 - Concentração de metais pesados em sedimentos de três regiões ao longo da zona costeira estuarina do Amapá.

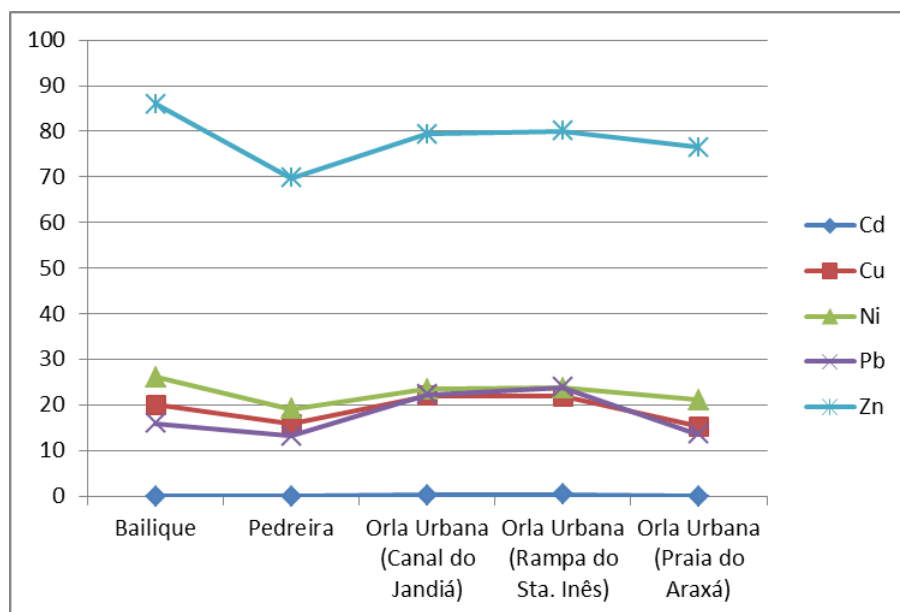
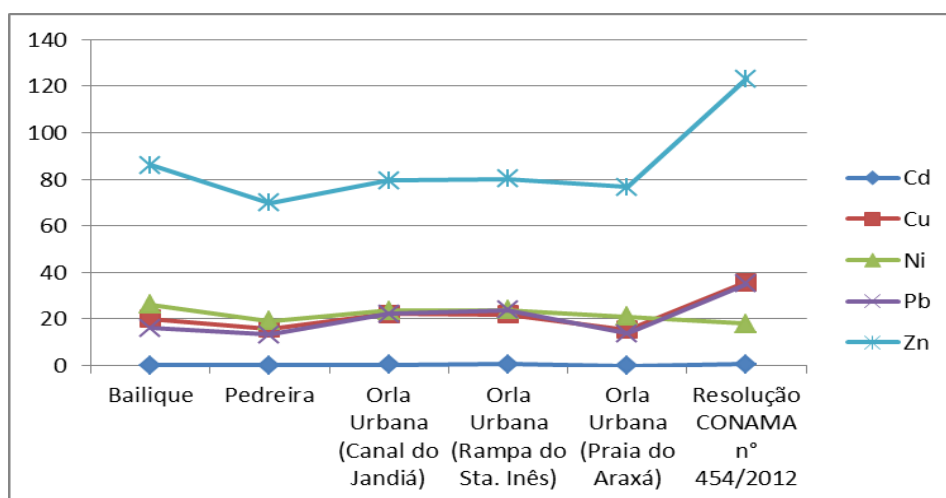


Gráfico 3 - Distribuição de metais pesados em sedimentos lamosos ao longo do perfil Bailique Macapá em relação aos parâmetros da resolução CONAMA n° 454/2012



Mediante apresentação dos dados de concentração de metais pesados nos sedimentos de cada ponto da zona costeira estuarina do Amapá observa-se que o elemento que aparece em menor concentração é o cádmio, em todos os pontos de coleta, se relacionado com os outros elementos encontrados, dentre os pontos de coleta em que o cádmio aparece em maior concentração é nas ilhas pedreiras. Sabe-se que algumas fontes de cádmio são fertilizantes, combustíveis fósseis e indústrias de ferro e aço. O cádmio possui baixo coeficiente de distribuição, isso significa que são facilmente substituídos por outros elementos (GOMES et al., 2001).

Outro elemento encontrado foi o cobre que é um elemento comumente encontrado em indústrias metalúrgicas, é muito usado na indústria de construção civil, indústria de produtos eletrônicos, é um dos elementos mais usados na reciclagem. Observa-se que os valores mais altos encontrados são nos pontos da orla urbana de Macapá, onde ocorre o lançamento e descarte de efluentes e resíduos sólidos que podem conter este metal. O cobre é fortemente absorvido em solos intemperizados, ele tem baixa mobilidade, sendo facilmente acumulados nos tecidos das plantas que crescem em solos contaminados (GOMES et al., 2001).

Níquel também foi encontrado em todos os pontos de coleta em diferentes concentrações, sendo os valores mais altos na orla urbana de Macapá, canal do jandiá e rampa do santa Inês. Esse elemento é encontrado em fontes como, fertilizantes, indústria de bateria e recobrimento de outros metais para retardar erosão, indústria aeronáutica e também foi muito usado na produção de moedas (POLETO; CARDOSO., 2012). A sua disposição no meio ambiente pode levar sérios para a saúde humana, por ser um elemento cancerígeno, predispondo o homem ao câncer de pulmão, laringe e nasal (GONZALEZ, 2016).

O chumbo é um dos metais pesados que mais preocupa os profissionais de saúde, porque causa sérios problemas a saúde, esse elemento foi encontrado em todos os pontos de coleta, se concentrando mais intensamente nos pontos da orla urbana de Macapá, canal do jandiá e rampa do santa Inês. O chumbo mesmo sendo um elemento tóxico é muito utilizado é muito utilizado nas indústrias petrolíferas, tintas, cerâmica, e bélica, por estar presente em diversos meios é muito presente na vida humana e no meio ambiente por meio dos lançamentos de efluentes ricos em chumbo (DUARTE; PASQUAL, 2000).

O zinco é um elemento que está presente desde a crosta terrestre até nos complexos vitamínicos usados pelos seres humanos, é encontrados em diferentes formas na natureza, seu maior uso é na produção de ferro, sendo usado para cobertura resistente á corrosão, usado

também em fertilizantes, aros e rodas de veículos, borrachas, plásticos, tintas e até em alguns cosméticos e produtos farmacêuticos (SILVA, 2021). Dentre os pontos de coleta o zinco aparece em altas concentrações nos pontos de coleta o Bailique e orla urbana de Macapá, rampa do santa Inês.

6 CONCLUSÃO

A contaminação por metais pesados no estuário amazônico ainda é incipiente. Na região do Bailique e das Ilhas Pedreira não foi identificada contaminações de níveis preocupantes. Entretanto, na área urbana de Macapá foram constatados maiores teores de zinco e níquel, que são metais pesados muito perigosos, como visto na *E. interstincta* (plantas e sedimentos), como também a presença de grande quantidade de células lipídicas e substâncias fenólicas nas espécies estudadas demonstrando a absorção e acumulação de substâncias assimiladas do ambiente onde as plantas estão inseridas. Embora exista fonte contaminante importante (áreas de atracação de embarcações), as macrófitas e sedimentos de fundo não apresentam teores elevados provavelmente devido a forte influência da maré, elevada vazão do Canal do Norte do rio Amazonas e, conseqüentemente, sua alta capacidade de diluição.

Dessa maneira, os resultados deste trabalho servirão como referência para futuros estudos de monitoramento ambiental e gerenciamento da zona costeira estuarina do Amapá haja vista que até o momento os dados analisados demonstram que as concentrações de elementos ainda estão dentro dos padrões limites usados, o que não isenta do fato de que a cada dia esses corpos hídricos recebem muito litros de efluentes com a presença desses elementos, contaminando e expondo a fauna e flora a ambientes insalubres, além de expor também a sociedade que faz uso desses recursos hídricos e se alimenta dos peixes presentes nessas águas. O trabalho também servirá para instigar o interesse em investigar mais sobre os possíveis casos de poluição por metais pesados nas regiões estudadas e o potencial de fitorremediação das macrófitas aquáticas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, B. W. P. – Plantas Forrageiras da Amazônia. I Aquáticas Flutuantes Livres. Acta Amazônica, Um desafio para Limnologia, Acta Amazônica, 1981. 11(3):457- 471.
- AQUINO, Alexandre de. Biorremediação: Uma técnica eficaz e barata para tratar o meio ambiente. Revista TAE- especializada em Tratamento de Água e efluentes. v.1. n.5, 2012.
- BRAGA, M. M. N. Anatomia foliar de Bromeliaceae da campina. Acta Amazonica, v. 7, n. 3, p. 30-36. 1977.
- BATISTA, Ieda Hortêncio et al. Potencial para produção de biossurfactantes em bactérias isoladas de macrófita aquática na Amazônia. 2019.
- BOOPATHY, R. (2000) Factors Limiting Bioremediation Technologies. Bioresource Technology, 74, 63-67. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00144-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00144-3).
- CAMARGO, A.F.M., ESTEVES, F.A. Biomass and Productivity of Aquatic Macrophytes in Brazilian Lacustrine Ecosystems. In: Tundisi J.G., Bicudo, C.E.M. & Tundisi, T. M. (Eds.) In: Limnology in Brazil. ed. São Carlos - SP: Academia Brasileira de Ciências e Sociedade Brasileira de Limnologia, 1995.
- CASTRO. C.K. Diversidade e equitabilidade de macrófitas aquáticas no Igarapé pedrinhas, no Município de Macapá, AP/Brasil. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.
- CHAVES, L.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 263-277, 2010.
- COELHO NETO GOMES, Miguel. Estudo da composição das comunidades de macrófitas aquáticas em dois lagos Amazônicos. 2019.
- COOK, C. D. K. 1996. **Water plants of the world**. SPB Academic Publishing, Amsterdam, The Netherlands.
- COOK, C. D. K. 1996. **Water plants of the world** . SPB Academic Publishing, Amsterdam, The Netherlands.
- COOK, C.D.K. Aquatic plant book. The Hague: SPB academic Publishing, 1990.
- COSTA NETO, S.V.; SENNA FERNANDES, S.C.; TOSTES, L.C.L.; SILVA MENDES, R. S. Macrófitas Aquáticas das Resgões dos Lagos do Amapá, Brasil. 2007.
- COSTA NETO, S.V. ; TOSTES, L.C.L. ; THOMAZ, D.O. Inventário Florístico das Ressacas das Bacias do Igarapé da Fortaleza e do DIAGNÓSTICO DAS RESSACAS DO ESTADO DO AMAPÁ: BACIAS DO IGARAPÉ DA FORTALEZA E RIO CURIAÚ
- COTTA, J.A.O.; REZENDE, O.O.M.; PIOVANI, M.R. (2006) Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. Química Nova, v. 29, p. 40-45. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000100009>
- DA SILVA BITTENCOURT, Suzana Carla et al. Juvenis de peixes associados a macrófitas aquáticas em ambientes de várzea na Amazônia Central, Brasil. Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), v. 10, n. 2, p. 38-45, 2020.

DEMARCO, C.F. Fitorremediação de ambientes aquático contaminado por atividades antrópicas em Pelotas/RS/ Carolina Faccio Demarco; Robson Adreazza, orientador; Maurizio Silveira Quadro, coorientador – Pelotas, 2019.

DHIR, B.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment. *Critical Reviews in Envir. Sci. And Tech.*, v. 39, p. 754-781, 2009.

DUARTE, R. G. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura, Botucatu*, v.15.n.1,p.46-58, 2000.

ESTEVES, F.A. Considerations on the ecology of wetlands, with emphasis on brasilian floodplain ecosystems. In: SCARANO, F.R.; FRANCO, A. C. (Eds.) *Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the neotropics*. p. 111-135.01998 (Serie *Oecologia Brasiliensis*,4).

FAWZY, M.; NASR, M.; ADEL, S.; NAGY, H.; HELMI, S. Environmental approach and artificial intelligence for Ni(II) and Cd(II) biosorption from aqueous solution using *Typha domingensis* biomass. *Ecological Engineering*, v. 95, p. 743–752, 2016.

FOLK, R.L. ; ANDREWS, P.B. ; LEWIS, D.W. Detrital sedimentary rock classification and nomeclature for use in New Zealand. *Journal of Geology and Geophysics, New Zealand*, v.13, p.937-968. 1970.

GANANÇA, Pedro Henrique Salomão. A heterogeneidade de macrófitas aquáticas como preditor da estrutura espacial das assembleias de sapos em um Lago Amazônico. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, v. 77, n.3, p. 229–236, 2001.

GERLACH, D. *Botanish mikrotechnik*. Stuttgart: Georg. Thieme Verlag, 311p, 1977.

GOMES, P.C.; FONTES, M.P.F.; SILVA, A.G.; MENDONÇA, E., NETTO, A.R. Selectivity sequence and compretitive of heavy metals by Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1115-1121,2001

GONZALEZ, Karina Regina. Toxicologia do níquel. *Revista intertox de toxicologia risco ambiental e sociedade*, v. 9, n. 2, p. 30-54, 2016.

GIMENO-GARCÍA,E; ANDREU, V,; BOLUDA, R. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution, Kidlington*,v96,n.1,p.19-25,1996.

GOMES. C.A; AOKI.C. Efeito da sazonalidade hídrica sobre a fitossociologia da macrófitas aquáticas em uma lagoa no Pantanal, Brasil. *Rev.Biol.Neotrop.* 12(1): 1-7. 2015.

HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany* 2002, 53, 1.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020

IRGANG, B.E; , *et al.* Macrófitas aquáticas da Estação Ecologica do Taim, Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. *Roessleria*, v. 6, p 395-404, 1984.

ITRC, Interstate Technology & Regulatory Council. Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document. 2001. 123p.

JENSEN, W. A. Botanical histochemistry: principles and practice. San Francisco: W. H. Freeman, 1962. 408p.

JESUS, T. B.; SOUZA, S. S., SANTOS, L. T. S. O.; AGUIAR, W. M. Avaliação da Potencialidade de Utilização de Espécies de Macrófitas como Acumuladoras de Metais Pesados. Revista Virtual de Química, v. 7. n. 4, p. 1102–1118, 2015

JOHANSEN, A. Plant microtechnique. New York, Mc Graw-Hill, 1940. 533p.

JUNK, W. J. & FURCH, K. Química da Água e Macrófitas Aquáticas de Rios e Igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas Adjacentes. Acta Amazônica 1984, 10(3):611-633.

JUNK, W. J. & HOWARD–WILLIAMS. Ecology of aquatic macrophytes in Amazonia in : Sido, H. , Ed. – the Amazon, Limnology Tropical river and its basin the Hague, Dr. W. Junk. p. 269-293, 1984.

JUNK, W. J. & MELLO NUNES, J.A.S. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na bacia amazônica brasileira. Tubigem Geogr. Stud., 95: 367-385, 1987.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. 1993. Herbaceous plants of Amazon floodplain near Manaus: Species diversity and adaptations to the flood pulse. Amazoniana, v.12, n.3/4, p.467-484.

JUNK, W.J. Áreas Inundáveis: Um desafio para Limnologia. Acta Amazonica., Manaus 1980, 10(4): 775-795.

JUNK, W.J. Ecology of Swamps on the middle Amazon. In: GORE, A.J.P. (ed.). Swamps, Bog, Fen and Moor, B. Amsterdam. Elsevier 1983, p. 269- 296 (Regional Studies).

JUNK, W.J. Investigation on the ecology and production biology of the floating-meadows (Paspalo-Eichinochloetum) on the middle Amazon. I. The floating vegetation and its ecology. Amazoniana 1970, 2: 449-496.

JUNK, W.J. Investigation on the ecology and production biology of the floating-meadows (Paspalo- Chinochloetum) on the middle Amazon. Amazoniana 1973, 4: 9-102.

JUNK, W.J. Macrófitas Aquáticas na várzea da Amazônia e possibilidades do seu uso na agropecuária. Manaus, INPA 1979, 23p.

KABATA-PENDIAS, A; PENDIAS, H. Trace Elements in soils and plants. 3. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KAVAMURA, V. N.; ESPOSITO, E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. Biotechnology Advances, 48v. 28, n. 1, 61–69, 2010.

KHAN, A.G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T.M.; KHOO, C.S; HAYES, W.J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelatins in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere, v.41, p.197-207, 2000.

KING, L. D. Soil Heavy metals. In: Proceedings of the Fortieth Annual Meeting of the Soil Science Society of North Carolina, v. XL, p. 84- 96, 1996.

KRAUS, J.E & ARDUIN, M. Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal. 1997.

LACERDA, L. D. Heavy Metal Pollution In Soil And Plants Of The Irajá River Area In Guanabara Bay. REVISTA BRASILEIRA DE BIOLOGIA. ACADEMIA BRASILEIRA DE

CIENCIAS, v.42, n.1, p.89 - 93, 1982.

LACERDA, L. D., PFEIFFER, W. P., FISZMAN, M. Níveis Naturais de Metais Pesados Em Sedimentos Marinhos da Baía da Ribeira, Angra dos Reis. CIENCIA E CULTURA. SOCIEDADE BRASILEIRA PAPA O PROGRESSO DA CIENCIA, v.34, p.921 - 927, 1982.

LINS, A. L. F. A, POTIGUARA – VILHENA, R.C ; ROSA, N.A. & RIBEIRO, I.C. Macrófitas Aquáticas de uma área de Barcarena, Pará, Brasil. Bol. Mus.Para. Emílio Goeldi, sér. Bot., Belém 5(2): 221-236. 1989.

LINS, A.L.F.A.; TOSTES, L.C.L.; VILHENA-POTIGUARA, R.C. & LOBATO, L.C. Macrófitas Aquáticas. In: LISBOA, P.L.B. Caxiuanã: Populações Tradicionais, Meio Físico e diversidade Biológica. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Cap. V, p 369-377, 2002.

LIMA, João Marcelo et al. Fungos produtores de enzimas associados à macrófitas aquáticas do rio Negro, Manaus. Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), v. 10, n. 3, p. 52-57, 2020.

LYNCH J. M.; MOFFAT, A. J. Bioremediation- prospects for the future application of innovative applied biological research. Anais Applied Biology 2005, p. 146-217, 2005.

MANGABEIRA P.A.; MIELKE M.S., ARANTES I.; DUTRUCH L.; SILVA, C.; BARBIER, F.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, A.H.; SEVERO M.I.G.; LABEJOF, L. ROCHA, D. C.; ROSA, T. S.; SANTANA, K.B.; GAVRILOV, K.L.; GALLE, P.; LEVI-SETTI, R.;

GRENIER-LOUSTALOT, M. F. Bioaccumulation of chromium in aquatic macrophyte *Borreria scabiosoides* Cham. & Schltld. Applied Surface Science, v.252, n. 19, p. 6816–6819, 2006.

MARTINS, D.I; Velini, E.D.I; Negrisoli, E.II; Tofoli, G.R.III. Controle químico de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* em caixas d'água. FCA–UNESP, Botucatu-SP, 2002.

MACDONALD, D.D.; INGERSOLL, C.G.; BERGER, T.A. (2000) Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. Archives Environmental Contamination and Toxicology, v. 39, p. 20-31.<https://doi.org/10.1007/s002440010075>

MIRANDA, Z.P.; TOSTES, L.C.L; Morfo-Anatomia Comparativa dos Órgãos Reprodutivos do Gênero de *Urospatha* Schott inflorescence (Araceae) Ocorrentes no Estado do Amapá, Brasil. 2019.

MOFFAT, A. S. Plants proving their worth in toxic metal cleanup. Science. v. 269, p.302- 303, 1995.

MORAES, A.C.R. Classificação das praias brasileiras por níveis de ocupação: proposta de uma tipologia para os espaços praias. In: MMA & MPO. Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão. Brasília, p. 33-44.

MOURA et al., 2015. E.Gde Moura Júnior , RMS de Paiva , AC Ferreira , LD Pacopahyba , AS Tavares , FA Ferreira , A. Pott Lista de verificação atualizada de macrófitas aquáticas do Norte do Brasil Acta Amazon , 45 (2015) , pp . 111-132

MURAMOTO, S. & OKI, Y. Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 30:170-177, 1983.

NEGRÃO, Glauco Nonose; SOUZA, Nathan Ulían; BUTIK, Mariane. Avaliação do Potencial

Fitorremediador da Macrófita Aquática *Salvinia Auriculata* na Absorção e Acúmulo de Zinco. Geografia (Londrina), v. 30, n. 1, p. 367-385, 2021.

OUTRIDGE, P.M. & HUTCHINSON, T.C. Effects of cadmium on integration and resource allocation in the clonal fern *Salvinia molesta*. Oecologia, 84:215-223, 1990.

PRASAD.V, NARASIMHA M., and FREITAS. O. M.H. "Hiperacumulação de metais em plantas: prospecção de biodiversidade para tecnologia de fitorremediação". Revista eletrônica de biotecnologia 6.3 (2003): 285-321.

PAULO, C.; PRATAS, J. Environment contamination control of water drainage from uranium mines by aquatic plants. In: PRASAD, M. N. V. (Ed.) Trace elements as contaminants and nutrients. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. p. 623-654.

PANTOJA, WMF, et al. "Diversidade de insetos associados às macrófitas aquáticas da Lagoa dos Índios em Macapá, AP." Embrapa Amapá-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO AMAPAENSE DE PESQUISA ENTOMOLÓGICA, 1., 2008, Macapá.[Palestras e resumos...]. Macapá: Embrapa Amapá, 2008., 2008.

PEDRALLI, G. Padrões florísticos como subsídios à conservação da biodiversidade de macrófitas aquáticas. In: Tópicos atuais em Botânica.1 ed.Brasília : Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000, v.1, p. 335-339.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology,v. 56, p. 15–39, 2005. PIRES, PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA,

L.R.Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.Planta Daninha, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

POTT,V.J. & POTT, A .Plantas aquáticas do Pantanal; Embrapa. Centro de Pesquisas Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS).- Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 404p.; il.

PRANCE, G.T. & ARIAS, R.J. 1975 A study of the Floral Biology of *Victoria amazonica* (Poepp.) sowerby (*Nymphaeaceae*). Acta Amazon., Manaus, 5 (2): 109-139, 1975.

PURVIS, M.; COLLIER, D. & WALL, D. Laboratory Techniques in Botany. London, Butterworths 1964.

RAI, P. K. 2009. Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 39:697-753.

REIS,N. D. C.; SILVEIRA, M. F. O.; SANTOS, F. S. Aspectos Sedimentológicos do Estuário do Rio Sucuriú, Amapá (AP). XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA III Encontro do Quaternário Sulamericano. 2011

Resolução CONAMA nº 357 de 2005

Resolução CONAMA Nº 454 DE 2012.

Rio Curiaú. In: TAKIYAMA, L.R. ; SILVA, A.Q. da (orgs.). Diagnóstico das Ressacas do Estado do Amapá: Bacias do Igarapé da Fortaleza e Rio Curiaú, Macapá-AP, CPAQ/IEPA e DGEO/SEMA, 2003, p.1-22.

SANTANA, Mailson Silva; DOS SANTOS, Celimarcos Bezerra; MITSUKA, Patrícia Maria. Composição de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas como parâmetro para avaliação da qualidade da água de um reservatório no semiárido baiano. Biotemas, v. 34, n. 3,

p. 1, 2021.

SEIDEL H. F.; MORROW, D. P. Passage of Mandatory Certification Bill by Iowa State Seropédica, RJ, Editora Universidade Rural. 194p. 1997.

SILVA, C.J. Observações sobre a Biologia reprodutiva de *Pistia stratiotes* L. (Araceae) (I) Acta Amazon., Manaus 11(3): 487-504, 1981.

SOUZA, E. P. D.; SILVA, I. D. F. D.; FERREIRA, L. E. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. Current Agricultural Science and Technology 2013, 17, 167.

SILVA, Milene Prudêncio da. Gestão de recursos humanos e a relação dos riscos psicossociais com os acidentes de trabalho: estudo realizado na CZC-Sociedade Mineira de Cobre, Zinco e Chumbo, SA. 2021. Tese de Doutorado.

SUGUIO, K. (1973) Introdução a Sedimentologia. Edgard Blucher/EDUSP, São Paulo, 317 p.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. Ecological Engineering, v. 18, p. 647–658, 2002.

THOMAZ, D.O.; COSTA NETO, S.V; TOSTES, L.C.L., Inventário Florístico das Ressacas das Bacias do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú. In: Diagnóstico de Ressacas do Estado do Amapá: bacias do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú/Organizado por Luís Roberto Takiyama, Arnaldo de Queiroz da Silva Macapá: SETEC/SEMA/IEPA, 2004, 260p.:il.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. Acta Limnologica Brasiliensia, Rio Claro, v. 10, n. 1, p. 103-116, jan./mar. 1998.

TORRES, A.M. Sedimentology of the Amazon Mouth: North and South Channels, Brazil. Kiel, und Museum Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Mathematisch- Naturwissenschaftlichen Fakultät, Geologisch-Palaontologisches Institut. 145p. Tese (PhD Geologie) - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Geologisch-Palaontologisches Institut, Universität Kiel, 1997. Van

LOON, J. Selected Methods of Trace Metal Analysis: Biological and Environmental Samples. John Wiley and Sons, New York, p. 28-36, 1985.

TRIPATHI, B.D. & SHUKLA, S.C. 1991. Biological treatment of wastewater by selected aquatic plants. Environ. Poll., v. 69, p. 69-78.

TRIPATHI, B.D. & SHUKLA, S.C. 1991. Biological treatment of wastewater by selected aquatic plants. Environ. Poll., v. 69, p. 69-78.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. Introduction to Phytoremediation. Cincinnati: 2000. 72p.

VARDANYAN, LG E INGOLE, BS. Estudos sobre acumulação de metais pesados em macrófitas aquáticas dos sistemas de lago Sevan (Armênia) e Carambolim (Índia). Environment International, 11, 208-218, 2006.

VASCONCELLOS M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. Estud. Biol., Ambiente Divers. v. 34, n.83, p. 261-267, 2012.

WOLVERTON, B.C. & MACDONALD, R.C. 1979. Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. J. Wat. Pollut. Control Fed., v. 51, p. 305-313.

WOLVERTON, B.C. & MACDONALD, R.C. 1979. Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. J. Wat. Pollut. Control Fed., v. 51, p. 305-313.

WOWK, G.I.T.H. 2003. Avaliação da contaminação do solo por chumbo proveniente da reciclagem de sucatas de baterias em área de várzea no município de Paula Freitas (PR). Curitiba. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. 76 p.

WOWK, G.I.T.H. 2003. Avaliação da contaminação do solo por chumbo proveniente da reciclagem de sucatas de baterias em área de várzea no município de Paula Freitas (PR). Curitiba. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. 76 p.