

Contaminação por metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo: uma ameaça para os manguezais

Contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons: a threat to mangroves

Thaís dos Santos Alencar[†]
Vicente de Paulo Santos de Oliveira^{**}
Manildo Marcião de Oliveira^{***}
Victor Barbosa Saraiva^{****}

O ecossistema manguezal é um dos mais produtivos do planeta e possui relevante importância ecológica. Ele oferece diversos serviços como a proteção da região costeira, imobilização de contaminantes, e é fonte de alimento e refúgio para diversos organismos. No entanto, os manguezais encontram-se frequentemente ameaçados por atividades antrópicas. Os derrames de petróleo em áreas próximas a manguezais, por exemplo, são fontes potenciais para entrada de contaminantes como metais pesados e hidrocarbonetos. Dentre outras fontes, podem-se citar os resíduos industriais e de esgotos, a mineração e o uso de fertilizantes. Esses contaminantes alcançam os manguezais, podendo causar diversos efeitos negativos e afetar seu equilíbrio.

Palavras-chave: Manguezais. Metais pesados. Hidrocarbonetos.

The mangrove ecosystem is one of the most productive ecosystems on the planet with relevant ecological importance. It offers several services such as protection of the coastal region, immobilization of contaminants, as it is a food source and refuge for various organisms. However, mangroves are threatened by human activities. Oil spills in areas close to mangroves, for example, are potential sources for the entry of contaminants such as heavy metals and hydrocarbons. Among other sources of threat, we list industrial waste and sewage, mining and fertilizer use. When they reach the mangroves, these contaminants may cause several negative effects and affect its balance.

Keywords: Mangroves. Heavy metals. Hydrocarbons.

| 7 |

1 Introdução

Proteger a região costeira da erosão, fixar e imobilizar contaminantes, ser fonte de nutrientes para áreas costeiras adjacentes, berçário e local de refúgio, alimentação e

[†] Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: thaissalencar03@gmail.com.

^{**} Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Titular do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: vsantos@ifff.edu.br.

^{***} Doutor em Biologia (Biociências Nucleares) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Cabo Frio/RJ - Brasil. E-mail: mmoliveira@ifff.edu.br.

^{****} Doutor em Ciências UFRJ-IBCCF. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Cabo Frio/RJ - Brasil. E-mail: vsaraiva@ifff.edu.br.

reprodução de várias espécies são alguns dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos manguezais, o que faz deste ecossistema um dos mais produtivos do planeta e de relevante importância ecológica. Além disto, os manguezais são importantes social e economicamente, pois servem como fonte de renda de populações que vivem em seu entorno pela venda de diversos pescados advindos ou providos por este ecossistema (ALVES, 2001).

Por localizarem-se na zona costeira, na qual está concentrada a população humana, no Brasil e no mundo, os manguezais estão entre os ambientes mais vulneráveis à degradação pelas atividades humanas. Construções de moradias, especulação imobiliária e projetos industriais avançam sobre esse ecossistema, destruindo-o ou afetando sua produtividade apesar de sua importância já mencionada. Os manguezais são ambientes que recebem grande aporte de contaminantes. Podem-se citar os poluentes orgânicos, advindos em sua maior parte de derrames da indústria petrolífera, e os metais pesados, que possuem como principal fonte da liberação neste ambiente despejos de resíduos industriais e de esgotos, mineração, derrames de petróleo e uso de fertilizantes. Esses contaminantes alcançam os manguezais, depositando-se neles, causando inúmeros impactos à fauna e à flora, afetando seu equilíbrio e causando diversos efeitos negativos (FELLENBERG, 1980; FORSTNER; WITTMANN, 1983; LACERDA et al., 1993; JACQUES et al., 2007; MOREIRA et al., 2013).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sobre o ecossistema manguezal e sua importância, e também sobre os metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo, principais contaminantes que afetam negativamente os manguezais.

2 Os manguezais: características, funções ecossistêmicas e contaminação

2.1 O ecossistema manguezal

O manguezal é um ecossistema costeiro, típico de regiões onde há encontro de água doce e salgada como estuários, baías, deltas e lagoas costeiras, estando sujeito a regime de marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Teve seu ponto de origem nas regiões dos oceanos Índico e Pacífico, distribuindo-se pelo mundo com o auxílio das correntes marinhas durante o processo de separação dos continentes (WALSH, 1974; CHAPMAN, 1975).

A distribuição geográfica dos manguezais se dá nas zonas intertropicais e apresenta maiores dimensões à medida que se aproximam da linha do Equador, devido à grande quantidade de energia solar que incide nesta região (WALSH, 1974). Segundo Giri e colaboradores (2011), a cobertura vegetal das espécies de manguezal no planeta gira em torno de 137.760 km². No Brasil, esse ecossistema é encontrado ao longo de praticamente toda a costa, estabelecido numa área de aproximadamente 1,38 milhão de hectares, que vai desde a foz do rio Oiapoque, no estado do Amapá até o município de Laguna, estado de Santa Catarina, representando mais de 12% dos manguezais do planeta (ALVES, 2001).

O calor e a luminosidade são condições fundamentais para o desenvolvimento de manguezais. O clima é, portanto, um dos fatores limitantes para sua ocorrência. Os manguezais precisam de temperaturas médias acima de 20 °C, por isso não se desenvolvem bem em regiões temperadas, de clima mais frio. Locais abrigados, de baixa energia marinha também são imprescindíveis para a ocorrência deste ecossistema, constituindo outra grande limitação para seu desenvolvimento (WALSH, 1974).

Os manguezais se estabelecem em locais onde há a deposição de sedimentos, geralmente associados a planícies costeiras de baixa declividade. O substrato onde se desenvolvem é geralmente inconsolidado, devido às inundações diárias de maré. São formados por sedimentos de granulometria mais fina como argila e silte, carreados de rios, mas também podem ser formados por areia vinda da área oceânica, trazida por marés, ondas e ventos. O solo dos manguezais possui cores acinzentadas a pretas, devido à decomposição de matéria orgânica e à saturação de água. Esses fatores reduzem os níveis de oxigênio no sedimento dos manguezais e tornam o solo rico em H₂S (sulfeto de hidrogênio), que, ao entrar em contato com o ar atmosférico, sofre redução e transforma-se em H₂SO₄ (ácido sulfúrico), acidificando o pH do sedimento e conferindo a este o odor forte característico dos manguezais (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; ALVES, 2001). O solo predominante em manguezais é halomórfico e de caráter tiomórfico, correspondendo aos Gleissolos e Organossolos. A diferenciação de horizontes ao longo do perfil ocorre apenas em áreas marginais, onde há desenvolvimento de um horizonte superficial com textura variável, desde argilosa até arenosa (AGEITEC-EMBRAPA, 2016).

As marés desempenham papéis de grande importância na formação e desenvolvimento dos manguezais. Elas favorecem o estabelecimento de espécies de plantas halófitas, resistentes à salinidade, enquanto inibem o desenvolvimento das espécies que não toleram ambientes salinos, transportam sedimentos, matéria orgânica, propágulos, servem como via aos animais, promovem a oxigenação do substrato. Além das marés, o aporte de água doce também tem papel fundamental no equilíbrio do ecossistema, pois além de transportar nutrientes, equilibra o pH ácido e diminui a salinidade excessiva da água do mar, permitindo o desenvolvimento adequado das espécies vegetais, uma vez que o excesso de sal também é fator limitante à sobrevivência delas. As inundações de maré ocorrem de uma a duas vezes durante 24 horas e seu intervalo (amplitude) varia de acordo com a latitude, aumentando à medida que estão mais próximas da linha do Equador. Essa variação está diretamente relacionada à altura dos vegetais e à área de manguezal, pois à medida que há maior variação das marés, maiores são os vegetais do manguezal e maior a área em que as plântulas halófitas podem se instalar (ALVES, 2001; SOFFIATI, 2014).

A vegetação do manguezal, denominada mangue, desenvolveu mecanismos de adaptação, fisiológicos e anatômicos, que a permitisse sobreviver em um ambiente com alta salinidade, de substrato anóxico e frouxo. O manguezal possui baixa riqueza de espécies, uma vez que poucas são as que desenvolveram tais mecanismos de adaptação e são capazes de tolerar esse ambiente. Assim, poucas são as espécies vegetais ditas exclusivas desse ecossistema (TOMLINSON, 1986).

No Brasil, as florestas de mangue são compostas basicamente por três gêneros de plantas lenhosas: *Avicennia*, *Laguncularia* e *Rhizophora* (BARROS et al., 2000), sendo também encontradas em

alguns manguezais plantas do gênero *Conocarpus* (USP, 2016). Além das espécies lenhosas exclusivas do manguezal, ocorrem também nesse ambiente, vegetais associados como espécies do gênero *Hibiscus* e epífitas como bromélias, samambaias, orquídeas, algas e líquens (TOMLINSON, 1986).

Para sobreviver em meio à alta salinidade, as espécies exclusivas de manguezal desenvolveram a capacidade de excretar o excesso de sal por minúsculos poros presentes em suas folhas, como ocorre com o gênero *Avicennia*, que suporta altas concentrações de sal. Outro mecanismo de adaptação é a formação de comportas capazes de barrar a entrada de sal em excesso pelo fechamento de lenticelas, que são poros situados acima do solo em raízes denominadas pneumatóforos. Os pneumatóforos se distribuem radialmente abaixo da superfície do solo, emitindo ramificações verticais em direção à superfície e auxiliam a planta na captação de ar atmosférico e troca de gases com o ambiente pelas lenticelas presentes neles. Com a subida e descida da maré, as lenticelas abrem-se e fecham-se. A planta fica submetida a uma situação de estresse quando há imersão constante dos pneumatóforos, o que a obriga a desenvolver lenticelas acima do nível da água. A formação dessas raízes pode ser observada nos gêneros *Avicennia* e *Laguncularia*. Uma forma de se fixar melhor no substrato inconsolidado é o enraizamento em forma de roda, desenvolvido por espécies do gênero *Rhizophora*. Além disso, o desenvolvimento de raízes aéreas (também chamadas de raízes adventícias) e de ramificações denominadas rizóforos, que partem do caule crescendo em direção ao solo (gravitropismo positivo) auxiliam na sustentação da planta. Essas estruturas podem ser observadas em espécies do gênero *Rhizophora*. As plantas exclusivas de manguezal são vivíparas, ou seja, suas sementes germinam enquanto ainda estão ligadas à planta-mãe. Os embriões se desenvolvem e transformam-se em propágulos que são liberados no ambiente, possuindo grandes quantidades de reservas nutritivas que os permitem sobreviver enquanto flutuam na água até encontrarem local adequado a sua fixação ou enquanto se enraízam no solo. A viviparidade é outro mecanismo de adaptação ao ambiente (TOMLINSON, 1986; SOFFIATI, 2014).

A vegetação característica dos manguezais está distribuída em faixas ao longo de um gradiente ecológico, a chamada zonação. Cada manguezal possui seu padrão de zonação e não cabe um mesmo padrão geral para todos. Assim, exigências da espécie como salinidade, imersão, solo, etc. irão determinar quais se estabelecerão em determinado local (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

A fauna desse ecossistema é bastante diversificada devido à grande variedade de nichos ecológicos, consequência da peculiaridade de sua vegetação (PEREIRA; ALVES, 1999). Neste ambiente podem ser encontrados vermes, moluscos, crustáceos, insetos, peixes, répteis, anfíbios, aves e mamíferos. O manguezal pode ser frequentado em caráter permanente, semipermanente e em caráter ocasional. O caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) é um exemplo de espécie que se encontra exclusivamente neste ecossistema. Há espécies que utilizam o ambiente durante uma parte de sua vida, para se proteger de predadores, na época de reprodução e/ou para obtenção de alimento (NOVELLI, 2004).

2.2 A importância do manguezal

O ecossistema manguezal é gerador de diversos bens e serviços e apresenta relevante importância tanto do ponto de vista ecológico, como econômico e social. Funciona como uma barreira natural à ação erosiva das ondas e marés, protegendo a linha costeira; retém sedimentos transportados pelos rios, o que permite a ocupação e propagação da vegetação; fixa e imobiliza contaminantes, como metais pesados; constitui importante fonte de detritos para as áreas costeiras adjacentes pela produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes, sendo um ambiente altamente nutritivo; funciona como ponto de repouso, alimentação e abrigo para aves migratórias; suas águas calmas, rasas e ricas em nutrientes possibilitam a reprodução e desenvolvimento de várias espécies, muitas de interesse econômico como peixes e crustáceos, funcionando como verdadeiros berçários naturais. O consumo e a venda desses pescados é muitas vezes a principal forma de subsistência de populações que vivem próximas aos manguezais (ALVES, 2001).

Apesar de sua grande importância, os manguezais estão entre os ecossistemas mais ameaçados do planeta. Por desenvolverem-se em regiões litorâneas, locais com intenso crescimento populacional e industrial, os manguezais vêm sofrendo constantes pressões que cada vez mais desequilibram seu funcionamento e causam sua destruição. A sobre-exploração de seus recursos e o crescente desenvolvimento da região costeira têm ocasionado grandes perdas da área de manguezais em todo mundo. De acordo com Rosen (2000), aproximadamente 50% de cobertura de manguezais já foram destruídos no planeta.

Os manguezais estão sujeitos a diversos contaminantes. Efluentes industriais, esgotos, derrames de petróleo, atividades de mineração e fertilizantes são fontes potenciais para entrada de metais pesados e de substâncias orgânicas como hidrocarbonetos de petróleo neste ecossistema. Esses poluentes podem ser altamente tóxicos aos organismos biológicos, desequilibrando o funcionamento do ecossistema (DSIKOWITZKY et al., 2011; KABATA-PENDIAS, 2011; PINHEIRO et al., 2012; MOREIRA et al., 2011).

3 Principais contaminantes que afetam os manguezais

3.1 Metais Pesados

O termo metal pesado tem sido usado para definir um grupo heterogêneo de elementos, incluindo metais, semimetals e não metais que possuem número atômico maior que 20 ou peso específico maior que 5 g cm^{-3} (MALAVOLTA, 1994). Outra denominação encontrada na literatura para metais pesados é “elementos traço”, pois são encontrados na natureza em baixas concentrações, da ordem de partes por bilhão (ppb) a partes por milhão (ppm) (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994; ESTEVES, 1998).

Os metais pesados ocorrem naturalmente no ambiente por intemperismo e desagregação das rochas, erosão do solo, fontes termais e atividades vulcânicas (FORSTNER; WITTMANN, 1983). No entanto, atividades antrópicas como o despejo de resíduos industriais e de esgotos, mineração, derrames de petróleo e uso de fertilizantes são importantes fontes de liberação desses elementos no ambiente (FELLENBERG, 1980; MOREIRA et al., 2013).

Os metais pesados são considerados poluentes graves, pois, ao contrário do observado para os contaminantes orgânicos, não são degradados por processos naturais, podendo persistir por anos no ambiente (GUIMARÃES, 2006). Mesmo em baixas concentrações, esses elementos possuem alta toxicidade e uma vez presente no solo, no ar ou na água, podem adentrar a cadeia alimentar e se bioacumular. Dependendo do metal, pode ocorrer sua biomagnificação ao longo da cadeia, causando sérios problemas aos animais, plantas e até ao homem (SINGH et al., 2011; PINHEIRO et al., 2012).

Estudos têm verificado a ocorrência de metais pesados em manguezais em todo o mundo. Podem-se citar trabalhos realizados em manguezais na China (TAM; WONG, 2000; WU et al., 2014; LI et al., 2016), Índia (AGORAMOORTHY et al., 2008; CHAKRABORTY et al., 2013; KANNAN et al., 2016), Arábia Saudita (USMAN et al., 2013; ALMAHASHEER et al., 2014), Portugal (CAEIRO et al., 2005), México (SOTO-JIMÉNEZ; PAEZ-OSUNA, 2001), Equador (FERNÁNDEZ-CADENA et al., 2014). Estudos realizados em manguezais do Brasil mostram a ocorrência de metais pesados no sedimento e na biota deste ecossistema. Destacam-se os trabalhos realizados em manguezais dos estados da Bahia (ANDRADE et al., 2012), Pernambuco (SILVEIRA et al., 2013), Rio de Janeiro (FERREIRA et al., 2010) e São Paulo (SILVA, 2011; FORTUNATO et al., 2012). Esses estudos revelam que as atividades antrópicas são a principal causa de contaminação dos manguezais do Brasil por metais pesados.

Por se tratarem de áreas abrigadas, de baixa energia marinha, com altas taxas de sedimentação e alto teor de matéria orgânica, os manguezais são ambientes favoráveis à acumulação por metais pesados. Esses contaminantes podem vir associados ao material particulado em suspensão de origem fluvial ou dissolvidos em suas águas, depositando-se nos manguezais. Devido a essas características, esse ecossistema pode apresentar altos níveis de metais pesados, mesmo que não haja fontes pontuais dos mesmos, atuando assim como sumidouro (LACERDA et al., 1993; LACERDA; SALOMONS, 1998; NOAA, 2014).

Por ser altamente redutor, constituído de partículas finas e rico em matéria orgânica, o sedimento de manguezal age como quelante de metais, o que favorece sua acumulação e consequentemente o torna menos disponível para biota local. Os metais tendem a ser adsorvidos nas partículas do sedimento e a formar complexos com a matéria orgânica, que é um importante complexante orgânico natural e pode definir a biodisponibilidade dos metais para o ambiente. A precipitação dos metais pesados é favorecida pelo alto pH e pela reação com óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e manganês (Mn). A degradação microbiana da matéria orgânica no sedimento de manguezal cria um ambiente anóxico que é ideal para a redução bacteriana de sulfato a sulfeto e de Fe^{3+} a Fe^{2+} , levando à formação de pirita (FeS_2). A pirita pode atuar como importante imobilizante de metais pesados principalmente através da coprecipitação e adsorção à sua superfície. Os efeitos

deletérios da toxicidade dos metais podem ser reduzidos grandemente pela complexação destes com ligantes inorgânicos ou orgânicos (ODUM, 1972; FERREIRA, 2002).

No entanto, diversas variáveis físico-químicas e biológicas irão determinar a permanência dos metais nos diversos compartimentos ambientais e sua remobilização. Eventuais mudanças de pH, potencial redox, salinidade, oxigênio dissolvido e temperatura podem influenciar nos níveis de toxicidade e biodisponibilidade dos metais (LACERDA, 1998). A remobilização desses elementos também pode ocorrer quando a capacidade de retenção do sedimento está saturada. A retirada da vegetação de mangue promove o revolvimento do sedimento e é outro fator que pode remobilizar esses contaminantes, tornando-os disponíveis. Os metais pesados que antes estavam estocados no sedimento se transformam em uma fonte de poluição secundária ao serem carreados para áreas adjacentes pela ação das marés e/ou incorporados a vegetais, entrando na cadeia alimentar e ficando disponíveis para os organismos (TAM; WONG, 1993; LACERDA, 1998).

Os sedimentos são os principais acumuladores de metais nos manguezais, apresentando concentrações muito mais elevadas quando comparadas às presentes na coluna d'água por exemplo. Desta forma, os sedimentos constituem-se importantes indicadores da qualidade do ambiente. No entanto, apenas simples determinações da concentração de metais no sedimento não oferecem informações precisas da biodisponibilidade e do potencial tóxico que eles podem causar no ambiente. Os metais se tornam mais tóxicos quando estão biodisponíveis do que na forma complexada por ligantes orgânicos ou adsorvida no material particulado. A fração dos metais nos sedimentos considerada biodisponível é aquela que se encontra na fase dissolvida, ou seja, na água intersticial. Os metais de origem natural são acumulados nas frações mais profundas, fortemente ligados aos minerais dos sedimentos e dificilmente serão remobilizados em condições naturais. Já os advindos de ação antrópica se acumulam principalmente nas primeiras frações (RUBIO et al., 1991; KENNISH, 1992).

Altos níveis de metais no meio podem resultar em elevadas concentrações na biota. Uma vez biodisponíveis, os metais podem ser incorporados aos vegetais do manguezal e, como não são biodegradáveis, se acumulam em seus tecidos, podendo causar efeitos nocivos. Ao serem absorvidos pela planta, esses contaminantes podem ser transportados da raiz para a parte aérea e reagir com moléculas da membrana celular, afetando importantes processos fisiológicos. Esses contaminantes também são incorporados à fauna do manguezal, podendo causar distúrbios nos seus processos metabólicos (PINHEIRO et al., 2012).

Organismos animais que vivem em manguezais com altos níveis de concentração de metais pesados estão sujeitos a acumular esses contaminantes. Mais estudos são necessários na caracterização dos efeitos tóxicos dos metais para a fauna nesses ambientes. A maioria deles é realizada em macroinvertebrados bentônicos. Esses organismos possuem baixa mobilidade e acumulam maiores concentrações de metais em comparação com organismos que vivem, por exemplo, na água (CHAPMAN et al., 1998). O caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) é um macroinvertebrado que tem sido muito estudado para verificação da acumulação e toxicidade de metais em seu organismo, além de ser bom indicador de impactos ambientais em manguezais, devido a características da espécie como, por exemplo, longo ciclo de vida, baixa taxa de

crescimento, fácil captura e sua ocorrência exclusiva em manguezais (SILVA, 2011; FRAGOSO, 2013). Pinheiro e colaboradores (2012) quantificaram a acumulação de seis metais: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), manganês (Mn) e chumbo (Pb) em órgãos de *Ucides cordatus* de áreas do manguezal de Cubatão, SP. Exceto Hg e Pb, todos os outros metais foram encontrados nos órgãos desse macroinvertebrado, sendo que o Cr se mostrou acima dos níveis seguros para consumo humano. Ferreira e colaboradores (2010) encontraram altos níveis de metais no fígado e rins de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite), um organismo de topo de cadeia, mostrando assim que os metais podem ser bioacumulados e biomagnificados via teia alimentar. Embora os organismos possuam eficientes processos de desintoxicação de metais, em concentrações muito altas, esses contaminantes podem causar graves efeitos tóxicos como o rompimento da integridade da membrana celular, acarretando falência de órgãos e morte (MACFARLANE; BURCHETT, 2001).

Quando estão biodisponíveis, os metais podem ser absorvidos pelos vegetais do manguezal e se acumular em diversos tecidos. A concentração do metal nos diferentes tecidos depende de fatores como idade da planta e o tipo de tecido que irá se acumular (SILVA et al., 1990; SARANGI et al., 2002). Silva e colaboradores (1990) observaram diferenças na absorção de Cr, Cu e Zinco (Zn) em tecidos de *Rizophora mangle*. Concentrações de metais tendem a ser maiores na raiz do que na parte aérea dos vegetais de mangue, uma vez que na parte aérea como folhas, podem ser mais tóxicas para o vegetal, interferindo em importantes processos fisiológicos. Podem levar à depleção de moléculas como a clorofila, afetando a fotossíntese, e gerar estresse oxidativo, causando sérios danos ao vegetal (SILVA et al., 1990; RAHMAN et al., 2009).

Os vegetais de manguezal possuem diversos mecanismos de defesa e desintoxicação na resposta à exposição por metais. A imobilização em vacúolos em células das raízes é um deles, além disto, a alta concentração de metais pode induzir as células a produzir proteínas chamadas metalotioneínas que se ligam a estes metais intracelularmente, causando redução dos efeitos nocivos sobre as células. A atividade de peroxidases no combate ao estresse oxidativo também tem sido relatada (MACFARLANE; BURCHETT, 2001; ZHANG et al., 2007). Segundo Lacerda e colaboradores (1986), certos mecanismos de adaptação de mangues à salinidade também estão relacionados à absorção de metais. Espécies do gênero *Rizophora* são sal-excludentes, separam a água doce por um sistema de filtros na superfície da raiz. Esse mecanismo parece ser eficiente em evitar a absorção de alguns metais. As espécies de mangue respondem de forma diferenciada aos metais, e a concentração de um mesmo metal pode variar em diferentes espécies bem como entre indivíduos de uma mesma espécie (UNTAWALE et al., 1980).

A baixa toxicidade de certos metais pesados para espécies vegetais do manguezal, principalmente pelo fato de não estarem, na maioria das vezes, disponíveis para serem absorvidos, mostra que o aporte desses contaminantes nessas áreas pode não ser fator tão grande de estresse para as espécies de mangue. Além disto, os mecanismos de defesa e desintoxicação mencionados anteriormente parecem ser os responsáveis pela certa tolerância que as espécies vegetais do manguezal têm a elevadas concentrações de metais pesados (LEWIS et al., 2011).

Segundo Lewis e colaboradores (2011), poucos esforços têm sido feitos para se determinar

a significância e os efeitos de metais pesados sobre os manguezais. Embora o número de estudos tenha crescido nos últimos anos, mais são necessários a fim de se conhecer tais efeitos causados pelo contaminante tanto de forma isolada quanto em combinação com diversos fatores, sejam variáveis abióticas ou bióticas. Diversas pesquisas têm sido realizadas mostrando a capacidade que certas plantas de mangue têm de bioacumular metais em seus tecidos (MAHDAVI et al., 2012; EINOLLAHIPEER et al., 2013; PAKZADTOOCHAEI, 2013; ALMAHASHEER et al., 2014). Faltam, porém, estudos que demonstrem de forma realista os potenciais efeitos tóxicos de metais em combinação com outros fatores e as concentrações limites para diversas espécies de mangue em seus diferentes tecidos e fases de vida. Além de pesquisas que preencham tais lacunas, outra vertente deve ser levada em consideração: o monitoramento de áreas de manguezal quanto à ocorrência e concentrações de metais pesados. De acordo com Agoramoorthy e colaboradores (2008), muitas vezes o sistema de monitoramento dessas áreas não é eficaz devido a fatores como falta de leis para a execução do monitoramento, apoio financeiro e recursos humanos. Um monitoramento eficiente dessas áreas pode ser um importante instrumento de políticas públicas e educação ambiental que visam diminuir e cessar as potenciais fontes de contaminação dos manguezais e áreas adjacentes.

3.2 Hidrocarbonetos de petróleo

O petróleo é derivado de matéria orgânica, depositada em fundo de lagos e mares, que ao longo de milhões de anos sofreu inúmeras transformações químicas. É constituído por uma mistura de diferentes compostos orgânicos, destacando-se os hidrocarbonetos, compostos de hidrogênio e carbono, que constituem até 98% da composição total de petróleo (FONSECA, 1992).

Os hidrocarbonetos aromáticos são aqueles que possuem anel benzênico na sua estrutura. Eles podem ser monoaromáticos: possuem um anel aromático, também conhecidos como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos - isômeros: *orto-*, *meta-* e *para-xileno*); e poliaromáticos (HPA): possuem dois ou mais anéis aromáticos. Os HPA são altamente hidrofóbicos e são menos solúveis à medida que possuem mais anéis aromáticos, sendo geralmente encontrados adsorvidos a partículas do solo (BONILLA et al., 2009). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) considera 16 HPA como Poluentes Orgânicos Persistentes (POP), podendo ser carcinogênicos e mutagênicos devido a sua capacidade de reagir com o DNA. Os BTEX, por sua vez, por apresentarem alta solubilidade em água, o que faz com que possuam ampla mobilidade no ambiente, são considerados compostos de grande preocupação ambiental, além de serem altamente tóxicos aos organismos vivos (COSTA et al., 2009; ANDRADE et al., 2010). São considerados compostos carcinogênicos e mutagênicos pela Agência Internacional de Pesquisa de Câncer (*International Agency for Research on Cancer* - IARC), órgão da Organização Mundial da Saúde, sendo o benzeno o mais tóxico entre os BTEX (JOHNSON et al., 2003).

Acidentes envolvendo derrames de petróleo e derivados afetam mares e zonas costeiras causando enormes danos ambientais. Os acidentes na indústria do petróleo ocorrem

principalmente pelas atividades destinadas à sua exploração como extração, transporte, refino, transformação e utilização (JACQUES et al., 2007). Embora os grandes vazamentos causem preocupações e recebam maiores destaques quando comparados com pequenos vazamentos, pequenos derramamentos de petróleo podem causar enormes prejuízos ambientais devido ao grau de toxicidade dos compostos derramados.

Por serem ecossistemas costeiros, os manguezais são ambientes propícios de serem impactados por hidrocarbonetos de petróleo, provenientes de derrames, sendo um dos principais locais de destino dos compostos oleosos. Especialmente em países onde a indústria petrolífera vem crescendo, áreas de manguezal têm sido afetadas, o que causa sérios efeitos negativos ambientais e econômicos a essas regiões. Diversos trabalhos têm relatado a contaminação de manguezais por petróleo e seus derivados provenientes de acidentes da indústria petrolífera (CLARK; WARD, 1994; BOTELHO, 2003; GIRI et al., 2011; LANGEVELD; DELANY, 2014; NOAA, 2014). No Brasil, pode-se mencionar trabalhos sobre a contaminação de manguezais da Baía de Guanabara, RJ, devido ao acidente ocorrido no ano 2000 (BOTELHO, 2003; SOARES et al., 2003; BAYARDINO, 2004; FARIAS, 2006) e sobre manguezais da Baía de Todos os Santos, Bahia, afetados por derrames de petróleo (VEIGA, 2003; QUEIROZ; CELINO, 2008; MOREIRA et al., 2011).

Características dos manguezais já mencionadas anteriormente fazem com que, assim como os metais, os poluentes orgânicos se acumulem em seu sedimento. Esses poluentes afetam a fauna e flora do manguezal, podendo causar diversos efeitos negativos ao ecossistema, afetando seu equilíbrio e produtividade.

Uma vez no manguezal, o poluente orgânico tende a se depositar; as lenticelas dos pneumatóforos sofrem com isto sufocamento, o que impossibilita a respiração das raízes e a troca gasosa com o meio. Em consequência, pode ocorrer morte de indivíduos e abertura de clareiras, como ocorrido em manguezais da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil, após o acidente que causou derramamento de 1,3 milhão de toneladas de petróleo (SOARES et al., 2003). A diminuição de árvores torna o manguezal vulnerável a perturbações como a erosão, por exemplo (DUKE et al., 2000). A redução da produção de folhas e assim de detritos diminui a exportação de matéria orgânica para áreas adjacentes, afetando a produtividade dessas áreas. A população de decompositores, importantes para a ciclagem de nutrientes do meio, também pode ser afetada (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1988). O depósito de petróleo e derivados no manguezal pode não levar à morte das árvores diretamente, no entanto pode torná-las enfraquecidas e mais suscetíveis a outros tipos de estresses (SNEDAKER et al., 1997; DUKE et al., 2000; NOAA, 2014). Diminuição na produção de sementes e queda de folhas estão entre as consequências observadas em manguezais impactados por compostos oleosos. Clark e Ward (1994) observaram que plantas de mangue afetadas por um acidente de petróleo no sul da Austrália diminuíram drasticamente a produção de sementes após 17 meses do derramamento.

A fauna que reside ou utiliza o manguezal é grandemente afetada por poluentes orgânicos que podem causar, dentre outros danos, a morte direta de indivíduos por sufocamento ou por absorção de frações tóxicas solúveis. Os hidrocarbonetos podem causar distúrbios na reprodução e respiração provocando efeitos adversos no metabolismo e fisiologia dos animais presentes no

manguezal, além de possuírem capacidade carcinogênica e mutagênica. A mobilidade de moluscos, crustáceos, peixes, répteis, anfíbios, aves e mamíferos fica comprometida, assim como é reduzida a tolerância a predadores, infecções e outros estresses (BLUMER, 1971; SUCHANEK, 1993; JOHNSON et al., 2003; IARC, 2015). Pesquisadores australianos observaram que diversas espécies de peixes importantes economicamente, que cresciam em áreas de manguezal no sul da Austrália, impactadas por derramamento de petróleo ocorrido no ano de 1992, apresentaram menor taxa de crescimento quando comparadas a peixes que cresciam em áreas não contaminadas pelo derramamento. Esses resultados indicam que os compostos oleosos retardam o crescimento de várias espécies de interesse comercial (CONNOLLY; JONES, 1996). Os efeitos negativos causados pelos compostos orgânicos em manguezais levam ao comprometimento da produtividade costeira local e de áreas adjacentes, uma vez que o manguezal é considerado berçário natural e local de reprodução e desenvolvimento de espécies de interesse econômico como peixes e crustáceos.

Fatores como quantidade, composição, e grau de toxicidade do poluente orgânico que chega ao manguezal irão interferir no tempo que o manguezal pode levar para se recuperar da perturbação (SANTOS et al., 2010; LANGEVELD; DELANY, 2014; LI et al., 2014; NOAA, 2014). A degradação de poluentes orgânicos em manguezais tende a ser mais lenta que em outros locais, por causa da característica anóxica de seu sedimento (LANGEVELD; DELANY, 2014; NOAA, 2014), podendo se estender por 20 anos ou mais o tempo de recuperação (BURNS et al., 1993). De acordo com Brito e colaboradores (2009), os danos causados pelos poluentes orgânicos aos manguezais, em algumas situações, podem ser permanentes.

Mais estudos são necessários sobre o comportamento desses contaminantes em manguezais. Faltam dados dos efeitos causados por diferentes concentrações de compostos orgânicos sobre a biota e dos efeitos combinados com os diversos fatores ambientais e outros estressores, como os próprios metais pesados.

4 Conclusão

Esta revisão apresenta as características dos manguezais, sua importância e também vulnerabilidade quanto ao recebimento de contaminantes, como metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo. Como relatado, os efeitos negativos para a biota de manguezais podem ser enormes. O funcionamento do ecossistema fica comprometido, podendo ser permanentes os danos causados ao manguezal, a depender do grau de contaminação.

Diante da importância do ecossistema e das constantes ameaças de origem antrópica que vêm sofrendo, é preciso que sejam realizados mais estudos sobre os potenciais efeitos tóxicos causados por metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo às espécies vegetais e animais do manguezal, e sobre os seus limites de tolerância aos contaminantes em diferentes fases da vida e em combinação com os diversos fatores ambientais e estressores.

O conhecimento dos limites de tolerância em diferentes concentrações e classes dos poluentes e de como eles se comportam no manguezal é essencial para estimativas sobre o tempo de recuperação e para o auxílio no desenvolvimento de ações que visem mitigar os efeitos negativos de metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo no ecossistema, uma vez conhecido o papel bioacumulador e biorremediador que certas espécies vegetais de manguezal possuem. Um monitoramento eficaz dessas áreas é importante para embasar políticas públicas e ações de educação ambiental que busquem minimizar e cessar as potenciais fontes desses contaminantes para os manguezais.

Referências

- AGEITEC. EMBRAPA. Agência Embrapa de informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7j02wx7ha087apz2c3xd0do.html>. Acesso em: 1 set. 2016.
- AGORAMOORTHY, G.; CHEN, F. A.; HSU, M. J. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. *Environmental Pollution*, v. 155, n. 2, p. 320-326, 2008.
- ALMAHASHEER, H. B.; AL-TAISAN, W. A.; MOHAMED, M. K. Metals Accumulation in Grey Mangrove (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) inhabiting Tarut Bay, Eastern Saudi Arabia. *Journal of Agricultural Science*, v. 6, n. 1, 2014.
- ALVES, J. R. P. *Manguezais: educar para proteger*. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001.
- ANDRADE, C. L. N.; CELINO, J. J.; GARCIA, K. S.; BARBOSA, R. M.; ESCOBAR, N. F. C. Biogeoquímica da matéria orgânica e metais em um manguezal na zona estuarina urbana, Bahia, Brasil. *Geonomos*, v. 2, n. 20, p. 34-43, 2012.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, São Paulo, v. 35, n. 3, 2010.
- BARCO-BONILLA, N.; VIDAL, J. L. M.; FRENICH, A. G.; GONZÁLEZ, R. R. Comparison of ultrasonic and pressurized liquid extraction for the analysis of polycyclic aromatic compounds in soil samples by gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Talanta*, v. 78, p. 156-164, 2009.
- BARROS, H. M. et al. *Gerenciamento participativo de estuários e manguezais*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.
- BAYARDINO, R. A. *A Petrobras e o desafio da sustentabilidade ambiental*. Monografia (Gradação em Economia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Economia, 2004.
- BLUMER, M. Scientific aspects of the oil spill problem. *Environ. Aff.*, v. 1, p. 54-73, 1971.

- BOTELHO, A. L. M. *Análise da contaminação por óleo na água de Guapimirim-RJ. Aspectos Geoquímicos e Sócio ambientais*. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, 2003.
- BRITO, E. M.; DURAN, R.; GUYONEAUD, R.; GONI-URRIZA, M.; GARCIA DE OTEYZA, T.; CRAPEZ, M. A. A case study of in situ oil contamination in a mangrove swamp (Rio de Janeiro, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, p. 418-423, 2009.
- BURNS, K. A.; GARRITY, S. D.; LEVINGS, S. C. How many years until mangrove ecosystems recover from catastrophic oil spills? *Marine Pollution Bulletin*, v. 26, n. 5, p. 239-248, 1993.
- CAEIRO, S.; COSTA, M. H.; RAMOS, T. B.; FERNANDES, F.; SILVEIRA, N.; COIMBRA, A.; MEDEIROS, G.; PAINHO, M. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecol. Ind.*, v. 5, p. 151-169, 2005.
- CHAKRABORTY, D.; BHAR, S.; MAJUMDAR, J.; SANTRA, S. C. Heavy metal pollution and Phytoremediation potential of *Avicennia officinalis* L. in the southern coast of the Hoogly estuarine system. *International Journal of Environmental Sciences*, v. 3, n. 6, 2013.
- CHAPMAN, P. M.; WANG, F.; JANSSEN, C.; PERSOONE, G.; ALLEN, H. E.; Ecotoxicology of metal in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment and remediation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* v. 55, n. 10, p. 2221-2243, 1998.
- CHAPMAN, V. J.; WALSH, G.; SNEDAKER, S. C.; TEAS, H. Mangrove biogeography. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE BIOLOGY AND MANAGEMENT OF MANGROVES. *Proceedings...* Gainesville: University of Florida. v.1, 1975.
- CLARKE, P. J.; WARD, T. J. The response of southern hemisphere saltmarsh plants and gastropods to experimental contamination by petroleum hydrocarbons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, The Hague, v. 175, n. 1, p. 43-57, 1994.
- CONNOLLY, R. M.; JONES, G. K. Determining effects of an oil spill on fish communities in a mangrove - seagrass ecosystem in southern Australia. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, v. 2, n. 1, p. 3-15, 1996.
- COSTA, A. H. R.; NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X. Biorremediação de águas subterrâneas impactadas por gasolina e etanol com o uso de nitrato. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 14, n. 2, p. 265-274, 2009.
- DSIKOWITZKY, L.; NORDHAUS, I.; JENNERJAHN, T. C.; KHRYCHEVA, P.; SIVATHARSHAN, Y.; YUWONO, E.; SCHWARZBAUER, J. Anthropogenic organic contaminants in water, sediments and benthic organisms of the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 4, p. 851-862, 2011.
- DUKE, N. C.; BURNS, K. A.; SWANNELL, R. P. J.; DALHAUS, O.; RUPP, R. J. Dispersant Use and a Bioremediation Strategy as Alternate Means of Reducing Impacts of Large Oil Spills on Mangroves: The Gladstone Field Trials. *Marine Pollution Bulletin*, v. 41, n. 7±12, p. 403±412, 2000.

EINOLLAHIPEER, F.; KHAMMAR, S.; SABAGHZADEH, A. A Study on Heavy Metal Concentration in Sediment and Mangrove (*Avicenia marina*) Tissues in Qeshm Island, Persian Gulf. *Journal of Novel Applied Sciences*, v. 2, n. 10, p. 498-504, 2013.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência; FINEP, 1998. 602p.

FARIAS, C. O. *Avaliação da degradação de óleo em sedimentos de manguezal: Estudo de caso, Baía de Guanabara, RJ*. 2006. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2006.

FELLENBERG, G. *Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental*. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, 1980.

FERNÁNDEZ-CADENA, J. C.; ANDRADE, S.; COELLO, C. L. S.; IGLESIA, R. D. L. Heavy metal concentration in mangrove surface sediments from the north-west coast of South America. *Marine Pollution Bulletin*, v. 82, n. 1, p. 221-226, 2014.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. de L. N. da. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 2, p. 229-241, 2010.

FERREIRA, T. O. *Solos de mangue do Rio Grumahú (Guarujá – SP): pedologia e contaminação por esgoto doméstico*. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.

FONSECA, M. R. M. *Química: química orgânica*. São Paulo: FTD, 1992.

FORSTNER, U. E.; WITTMANN, G. T. W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2. ed. [S.l]: Springer-Verlag, 1983. 485 p.

FORTUNATO, J. M.; HYPOLITO, R.; MOURA, C. L.; NASCIMENTO, S. C. Caracterização da contaminação por metais pesados em área de manguezal, município de Santos (SP). *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 57-69, 2012.

FRAGOSO, C. P. *Mercúrio em compartimentos bióticos e abióticos do manguezal da foz do rio Paraíba do Sul (RJ), utilizando a composição elementar e isotópica do carbono e do nitrogênio*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011.

GUIMARÃES, F. P. *Potencial de macrófitas para remoção de arsênio e atrazine em solução aquosa*. 2006. 87 p. Tese (Magister Scientiae) - UFV, Programa de Pós-Graduação em botânica, 2006.

IARC. International Agency for Research on Cancer. Disponível em: <<http://www.iarc.fr/index.php>>. Acesso em: 1 set. 2016.

- JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, 2007.
- JOHNSON, S. J.; WOOLHOUSE, K. J.; PROMMERA, H.; BARRYA, D. A.; HRISTOFI, N. Contribution of anaerobic microbial activity to natural attenuation of benzene in groundwater. *Engineering Geology*, Edinburgh, v. 70, n. 3, p. 343-349, 2003.
- KABATA-PENDIAS, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. Fourth ed. New York: CRC Press; Taylor and Francis Group, 2011.
- KANNAN, N.; THIRUNAVUKKARASU, N.; SURESH, A.; RAJAGOPAL, K. Analysis of Heavy Metals Accumulation in Mangroves and Associated mangroves Species of Ennore Mangrove Ecosystem, East Coast India. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 9, n. 46, 2016.
- KENNISH, M. J. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. [SI]: CRC Press, 1992. 494 p.
- LACERDA, L.D. *Biogeochemistry of Trace Metals and Diffuse Pollution in Mangrove Ecosystems*. Okinawa: International Society for Mangrove Ecosystems, 1998.
- LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E.; JOSÉ, D. M. V.; FRANCISCO, M. C. F. Metallic composition of mangrove leaves from the Southeastern Brazilian coast. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 46, n. 2, p. 395-399, 1986.
- LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. *Mercury from gold and silver mining: A chemical time bomb?* Berlin: Springer Verlag, 1998. 146 p.
- LANGEVELD, J. W. A.; DELANY, S. The impact of oil exploration, extraction and transport on mangrove vegetation and carbon stocks in Nigeria. *Biomass Research report*, v. 1401, 2014.
- LEWIS, M.; PRYOR, R.; WILKING, L. Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: A review. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 10, p. 2328-2346, 2011.
- LI, F.; ZENG, X.; YANG, J.; ZHOU, K.; ZAN, Q.; LEI, A.; TAM, N. F. Y. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments and plants of mangrove swamps in Shenzhen, China. *Marine Pollution Bulletin*, v. 85, n. 2, p. 590-596, 2014.
- LI, RUILI; CHAI, M.; QIU, G.Y. Distribution, Fraction, and Ecological Assessment of Heavy Metals in Sediment-Plant System in Mangrove Forest, South China Sea. *PloS one*, v. 11, n. 1, p.1-15, 2016.
- MACFARLANE, G. R.; BURCHETT, M. D. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Marine Pollution Bulletin*, v. 42, n. 3, p. 233-240, 2001.
- MAHDAVI, S. E.; RAHIMI, K. A. E.; AMINI, H. Pb and Cd accumulation in *Avicennia marina* from Qeshm Island, Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, v. 11, n. 4, p. 867-875, 2012.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. *Comportamento de cobre, Cd, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. 1994. 197 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo., Piracicaba, 1994.

MOREIRA, I. T. A.; OLIVEIRA, O. M. C.; TRIGUIS, J. A.; SANTOS, A. M. P.; QUEIROZ, A. F. S.; MARTINS, C. M. S.; SILVA, C. S.; JESUS, R. S. Phytoremediation using *Rizophora mangle* L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). *Microchemical Journal*, v. 99, n. 2, p. 376-382, 2011.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. *Oil spills in mangroves: planning and response considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Office of Response and Restoration. 2014.

NOVELLI, Y. S.; JÚNIOR, C. C.; ROSA, M. T. *Manguezais*. São Paulo: Ática, 2004.

ODUM, E. P. *Ecologia*. 3. ed. México: Nueva Editorial Interamericana, 1972. 639p.

PAKZADTOOCHAEI, S. Comparing the concentration of heavy metals (Cd, Cu, Ni and Zn) in the sediment and different tissues of *Avicenna marina* in Iranian coasts of the Oman Sea. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, v. 4, n. 3, p. 561-569, 2013.

PEREIRA, F. O.; ALVES, J. R. P. *Conhecendo o manguezal*. 4. ed. Rio de Janeiro: Grupo Mundo da Lama, 1999. 10 p. Apostila técnica

PINHEIRO, M. A. A.; SILVA, P.P. G.; DUARTE L. F. de A.; ALMEIDA, A. A.; ZANOTTO, F. P. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucrididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 81, p. 114-121, 2012.

QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J. J. Impacto ambiental da indústria petrolífera em manguezais da região norte da baía de todos os santos (Bahia, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 62-63, p. 23-34, 2008.

RAHMAN, M. M.; CHONGLING, Y.; RAHMAN, M. M.; ISLAM, K. S. Accumulation, distribution and toxicological effects induced by chromium on the development of mangrove plant *kandelia candel* (L.) Druce. *Ambi-Agua*, v. 4, n. 1, p. 6-19, 2009.

ROSEN, M.A. *World Resources 2000 e 2001: People and Ecosystems, the Fraying Web of Life*. Washington DC: World Resources Institute, 2000.

RUBIO. R.; LOPEZ-SANCHEZ, I. F.; RAURET, G. La especiación salida de trazas de metales en sedimentos. Aplicación a sedimentos muy contaminados. *Ani. de Quim.*, v. 87, p. 599-605, 1991.

SANTOS, H. F.; CARMO, F. L.; PAES, J. E. S.; ROSADO, A. S.; PEIXOTO, R. S. Bioremediation

of Mangroves Impacted by Petroleum. *Water Air Soil Pollut.*, 216, p. 329-350, 2010.

SARANGI, R. K.; KATHIRESAN, K.; SUBRAMANIAN, A. N. Metal concentrations in five mangrove species of the Bhitarkanika, Orissa, east coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, v. 31, n. 3, p. 251-253, 2002.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; RODRIGUES, F. O.; CINTRÓN-MOLERO, G. Mangroves: a methodology for oil pollution impact assessment. *Abstr. JOA Mexico*, v. 88 (288.57), p. 99, 1988.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar*. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. 64p.

SILVA, C. A. R.; LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E. Metals reservoir in a red mangrove forest. *Biotropica*, v. 22, p. 339-345, 1990.

SILVA, P. P. G. *Contaminação por metais (Cd, Cu, Pb, Cr, Mn e Hg) e avaliação do impacto genotóxico em *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae), em dois manguezais do estado de São Paulo*. 2011, xiv, 62 p. Trabalho de conclusão (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental do Litoral Paulista.. São Vicente, 2011.

SILVEIRA, P. B.; ALVES, P. S.; ALMEIDA, A. M.; FILHO, C. A. S.; VALENTIM, E.; HAZIN, C. A. Avaliação da biodisponibilidade de metais em sedimentos de manguezais da área do Complexo Estuarino de Suape-PE. *Scientia Plena*, v. 9, 08 1019, 2013.

SINGH, R.; GAUTAM, N.; MISHRA, A.; GUPTA, R. Heavy metals and living systems: An overview. *Indian J. Pharmacol.*, v. 43, n. 3, p. 246-253, 2011.

SNEDAKER, S. C.; BIBER, P. D.; ARAÚJO, R. J. Oil spills and mangroves: an overview. In: PROFFITT, C.E. (Ed.). *Managing Oil Spills in Mangrove Ecosystems: Effects, Remediation, Restoration, and Modeling*. OCS Study MMS 97-0003. New Orleans: U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, 1997. p. 1-18.

SOARES, M. L. G.; CHAVES, F. O.; CORRÊA, F. M.; SILVA, C. M. G. Diversidade estrutural de bosques de mangue e sua relação com distúrbios de origem antrópica: O caso da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro). *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ*, v. 26, p. 101-116, 2003.

SOFFIATI, A. *Os manguezais do sul do Espírito Santo e do norte do Rio de Janeiro com alguns apontamentos sobre o norte do sul e o sul do norte*. 2. ed. rev. ampl. atual. Campos dos Goytacazes (RJ): Essentia Editora, 2014.

SOTO-JIMÉNEZ, M. F.; PAEZ-OSUNA, F. Distribution and normalization of heavy metal concentration in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuar. Coast. Shelf*, v. 53, p. 259-274, 2001.

SUCHANEK, T. H. Oil impacts on marine invertebrate populations and communities. *American Zoologist*, v. 33, p. 510-523, 1993.

TAM, N. F.; WONG, Y.S. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environ. Pollut.*, v. 110, n. 2, p. 195-205, 2000.

TAM, N. F. Y.; WONG, Y. S. Retention of nutrients and heavy metals in mangrove sediments receiving waste water of different strengths. *Environ. Tech.*, v. 14, n. 8, p. 719-729, 1993.

TOMLINSON, P. B. *The botany of mangroves*. New York: Cambridge University Press, 1986.

UNTAWALE, A. G.; WAFAR, S.; BHOSALE, N. B. Seasonal variation in heavy metal concentration in mangrove foliage. *Mahasagar Bulletin of National Institute Oceanography*, v. 13, n. 3, p. 215-223, 1980.

USEPA. Environmental Protection Agency. How to effectively recover free product at leaking underground storage tanks sites – a guide for state regulators. Washington, 1996.

USMAN, A. R. A.; ALKREDAA, R. S.; AL-WABEL, M. I. Heavy metal contamination in sediments and mangroves from the coast of Red Sea: *Avicennia marina* as potential metal bioaccumulator. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 97, n. 1, p. 263-270, 2013.

USP. Universidade de São Paulo. *O ecossistema manguezal*. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=70>. Acesso em: 1 set. 2016.

VEIGA, I. G. *Avaliação da origem dos hidrocarbonetos em sedimentos superficiais de manguezais da região norte da baía de todos os santos / Bahia*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo, Macaé, 2003.

WALSH, G. E. Mangroves: a review. In: REIMHOLD, R.; QUEEN, W. (Edits). *Ecology of Halophytes*. New York: Academic Press, 1974.

WU, Q.; TAM, N. F. W.; LEUNG, J. Y. S.; ZHOU, X.; FU, J.; YAO, B.; HUANG, X.; XIA, L. Ecological risk and pollution history of heavy metals in Nansha mangrove, South China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 104, p. 143-151, 2014.

ZHANG, G. C.; LEUNG, K. K.; WONG, Y.S.; TAM, N. F. Y. Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution. *Environmental and Experimental Biology*, v. 60, n. 1, p. 127-136, 2007.