



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA: PETRÓLEO E MEIO
AMBIENTE**

CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE

**BIOGEOQUÍMICA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO
PASSA VACA EM ÁREA URBANA DE SALVADOR, BA**

Salvador
2011

CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE

**BIOGEOQUÍMICA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO
PASSA VACA EM ÁREA URBANA DE SALVADOR, BA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Montenegro Barbosa
Co-orientadora: Prof^a. Dra. Karina Santos Garcia

Salvador
2011

CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE

**BIOGEOQUÍMICA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO PASSA
VACA, EM ÁREA URBANA DE SALVADOR, BA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre Geoquímica do Petróleo e Meio ambiente, pela seguinte banca examinadora:

Salvador, 4 de agosto de 2011

Profa. Dra. Karina Santo Garcia – Co-Orientadora
UFBA

Prof. Dr. Antônio Fernando de Souza Queiroz
UFBA

Profa. Dra. Bárbara Rosemar Araújo
UFBA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela presença absoluta em minha vida, por ter me concedido tantas chances e oportunidades neste plano e, principalmente, por me dar forças e persistência para correr atrás dos meus sonhos e objetivos.

À minha mãe guerreira que sempre esteve ao meu lado e por vezes acreditou em mim mais do que eu mesma. Obrigada por ser a melhor mãe do mundo!

A meu pai e meus avôs que me iluminam do céu e sempre intercedem a meu favor.

A meu irmão Lucas e sua família pela força, incentivo, carinho e pelos bons conselhos e ao meu irmão Daniel também pelo carinho.

A todos meus tios, primos e sobrinhas pelos bons momentos, sorrisos e incentivos.

Às minhas amigas muito queridas Nazaré, Rosane, Priscila e Roberta que mesmo com toda nossa falta de tempo estão sempre torcendo por mim, me dando apoio e carinho; e a todos os amigos que me cercam e fazem parte da minha vida.

A meu orientador Ronaldo por todo conhecimento transmitido e à minha co-orientadora Karina também pelo conhecimento, paciência, dedicação e carinho.

Ao professor Joil por ter aceitado participar e contribuir para este trabalho no momento que mais precisei de ajuda e apoio científico. MUITÍSSIMO obrigada!

Aos coordenadores do POSPETRO (Professora Olívia Maria e Professor Antônio Fernando) por toda dedicação e disponibilidade e a todos os professores do curso pela transmissão de conhecimento, sabedoria e também pelo apoio.

À Bárbara por ter me ajudado tanto neste trabalho e ter aberto as portas da UNIME para mim. Com isso, agradeço também faculdade UNIME pela estrutura física a mim disponibilizada, e aos funcionários pelo apoio, sobretudo às técnicas Fabiana e Iodália por toda ajuda imprescindível na execução do presente trabalho.

Ao Laboratório de Física Nuclear, principalmente à Professora Maria do Rosário Zucchi, pela realização da Análise Elementar.

Aos colegas e ex-colegas do POSPETRO (Rose, Alexandre, Alex, Marcio, Paulinha, Ícaro, Sara, Aline, Tainã, Carol, Cláudia, Olga, Bonfim, Bruno etc) pelo apoio, contribuição e também pelas risadas.

Também agradeço aos técnicos do LEPETRO: Jorginho, Marcos, Sarah e Gisele pela participação imprescindível e paciência. Além de todos os funcionários do Instituto de Geociências e a Naná pela disponibilidade e paciência.

Aos estagiários do NEA/IGEO, sobretudo, à Nara, Rafa e Carine, que também tiveram participação neste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia (FAPESB) e à Coordenação de Auxílio à Pesquisa de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta para este trabalho e a todos que fazem parte da minha vida, muito obrigada!

**Dedico este trabalho à minha
mãe querida e a toda minha
família que torce pelo meu
sucesso.**

“Plante seu jardim e decore sua alma, ao invés de esperar que alguém lhe traga flores.”

Willian Shakspeare

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo biogeoquímico no estuário do rio Passa Vaca, situado em área urbana da cidade de Salvador, Bahia. Para o estudo da morfologia foliar foram estabelecidas três áreas de amostragem, nas quais foram selecionadas três árvores de cada espécie obrigatória de manguezal presente (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.) e coletadas 30 folhas adultas em cada. Foram avaliadas: as medidas biométricas; as características externas (necrose tecidual, clorose, perfurações, bordas revolutas e manchas escuras); e as características internas (disposição dos diversos tecidos, presença de glândulas, de galhas, drusas, dentre outras estruturas) por meio de cortes histológicos. Para o estudo das demais variáveis foram estabelecidos dois transectos nas margens do rio, nos quais foram demarcados 15 pontos de amostragem com 60 m² cada. Para a avaliação da estrutura da vegetação, foram contados e mensurados alturas e circunferências de todos os indivíduos, das espécies obrigatórias de manguezal presentes. Para o estudo químico foram também coletadas, em cada ponto dos transectos, 30 folhas adultas, porções de sedimento de superfície, e estimados os parâmetros não conservativos: pH, Eh, temperatura e salinidade, na água intersticial e no sedimento e o Oxigênio Dissolvido (OD) nas águas superficiais do rio. Foram determinados os elementos: Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Al nas folhas e nos sedimentos, além de Mg nas folhas; e os teores de P, Carbono Orgânico Total (COT), N, granulometria e isótopos de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos sedimentos. Os resultados demonstraram que a espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn teve maior dominância na área estudada e que o bosque estudado se encontra em estágio maduro de desenvolvimento. Á nível morfológico as espécies apresentaram muitas adaptações relacionadas à manutenção da homeostase e para a sobrevivência em ambiente antropizado. Além disso, foram observadas muitas necroses e fragilidades teciduais, sobretudo na espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. Entretanto, a composição química e a morfologia das folhas, no geral, não diferiram de outros estudos em áreas de manguezal também impactadas por atividades antrópicas, com exceção para as concentrações de K, que estiveram abaixo do referenciado pela literatura. Nos sedimentos foram encontradas concentrações de Cu e Fe acima do referenciado pela literatura em alguns pontos e foram observadas correlações entre a temperatura do sedimento e a densidade de indivíduos mortos, além de associações entre densidade de *Rhizophora mangle* L. e a composição química do substrato. Também foram observadas correlações sedimento/ planta na concentração dos nutrientes avaliados, contudo, os fatores de concentração para os metais pesados estiveram abaixo de 1,0, indicando baixa absorção destes pelas plantas. A razão molar C/N e isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{C}$ indicaram que um percentual considerável da matéria orgânica na área estudada é de fonte terrestre, sendo proveniente da vegetação do próprio manguezal. Assim, ficou evidenciado que a vegetação do estuário do rio Passa Vaca atua como barreira biogeoquímica no transporte e exportação de metais para o manguezal e o ecossistema costeiro adjacente.

Palavras-chave: Manguezal; Biogeoquímica; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; *Rhizophora mangle* L.

ABSTRACT

This paper presents a biogeochemical study on the estuary of the River Passa Vaca, located in the urban area of Salvador, Bahia. For the study of leaf morphology were established three sampling areas and were identified three trees of each species present obligatory mangrove (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn and *Rhizophora mangle* L.) and collected in every 30 adult leaves. These were evaluated: the biometric measurements, the external characteristics (necrosis, chlorosis, perforations, revolute edges and dark spots) and the internal features (arrangement of various tissues, presence of glands, gall, Druze, etc.) by cutting histology. In addition to the study of other variables evaluated two transects were established along the river, in which staked out 15 sampling points with 60 m² each. Thus, for the study of vegetation structure all individuals mangrove species were considered, these were counted and measured their heights and circumferences. For the study chemical were also collected at each point of the transect, 30 adult leaves and portions of the sediment surface, and estimated non-conservative parameters: pH, Eh, temperature and salinity in the sediment interstitial water and dissolved oxygen (DO) surface waters of the River. Elements were determined: Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Al in the leaves and sediment, and Mg in the leaves, and the levels of P, Total Organic Carbon (TOC), N, grain size and isotopes nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) in the sediments. The results showed that the species *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn had greater dominance and the mangrove studied it is in mature stage of development. Level morphological species have many adaptations that relate to maintenance of homeostasis and for survival in an anthropic environment. In addition, we found many weaknesses and tissue necrosis, especially in the species *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. However, the chemical composition and morphology of leaves, in general, did not differ from other studies in mangrove areas also impacted by human activities, except for concentrations of K, which were below the referenced literature. Since the sediments were found concentrations of Cu and Fe above in the literature referenced at some point and correlations were observed between the temperature and density of the sediment of dead individuals, and associations between the density of *Rhizophora mangle* L. and chemical composition of the substrate. Correlations were also observed sediment / plant in the concentration of nutrients, however, the concentration factors for heavy metals were below 1.0, indicating low absorption of these plants. The molar ratio C / N and isotopic $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{C}$ indicated that a significant percentage of organic matter in the study area is land-based sources, and from the mangrove vegetation itself. Thus, it was evident that the vegetation of the estuary of the River Passa Vaca acts as a barrier in the transport of biogeochemical export of metals to the mangrove and adjacent coastal ecosystem.

Keywords: mangrove; biogeochemistry; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; *Rhizophora mangle* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da Bacia Hidrográfica do rio Passa Vaca (Salvador – BA), 2007 (ALMEIDA, 2009)..... 16

Figura 2: Localização da área de estudo no estuário do rio Passa Vaca situado na Avenida Otávio Mangabeira, Bairro de Patamares, Salvador-BA. A – Visualização na América do Sul e Brasil; B – Situação em planta no município de Salvador; C – Vista aérea do estuário do rio Passa Vaca..... 17

Figura 3: Ocupação da bacia do rio Passa Vaca, Salvador, BA. A e B - Empreendimentos imobiliários instalados próximos à área de estudo; C- Área da bacia interceptada pela Avenida Paralela, no alto curso da bacia (TORRES; ALMEIDA, 2008); D- Canalização na foz do rio..... 18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
4	RELEVÂNCIA DO TRABALHO	19
5	REVISÃO DA LITERATURA	21
5.1	O ECOSSISTEMA MANGUEZAL	21
5.2	IMPACTOS SOBRE MANGUEZAIS EM ÁREAS URBANAS	22
5.3	A VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL	23
5.3.1	ESPÉCIES ESTUDADAS	24
5.3.1.1	<i>Rhizophora mangle</i> L.	24
5.3.1.2	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn	25
5.4	IMPORTÂNCIA DO ESTUDO FITOSSOCIOLÓGICO EM MANGUEZAIS	26
5.5	AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E ANATOMO-MORFOLÓGICA NA VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL DE ÁREAS IMPACTADAS POR ATIVIDADES ANTRÓPICAS	26
5.6	AVALIAÇÃO DE METAIS	28
5.7	TRAÇADORES NATURAIS NO ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA	32
6	ARTIGOS	33

6.1 PARÂMETROS ESTRUTURAIS E AMBIENTAIS EM FLORESTA DE MANGUEZAL NO ESTUÁRIO DO RIO PASSAM VACA, SALVADOR - BAHIA, BRASIL.	33
6.2 FONTE, DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E A BIOGEOQUÍMICA DE ECOSSISTEMA MANGUEZAL EM ZONA ESTUARINA TROPICAL DA CIDADE DE SALVADOR, BAHIA, BRASIL.	53
6.3 INFERÊNCIAS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA MORFOLOGIA E QUÍMICA DE FOLHAS DE <i>RHIZOPHORA MANGLE</i> L. E <i>LAGUNCULARIA RACEMOSA</i> (L.) GAERTN NO ESTUÁRIO DO RIO PASSA VACA, SALVADOR-BAHIA, BRASIL.....	69
7 CONCLUSÕES.....	98
8 REFERÊNCIAS	100
9 APÊNDICES	110

1 INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal é considerado, em todo o mundo, como representativo de alta produtividade, de grande diversidade e abundância de organismos vivos, principalmente animais, constituindo um berçário de espécies, local de alimentação e nutrição para animais e plantas e, ainda, um “celeiro”, pela sua grande produção em pescado (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Pelos seus aspectos biogeoquímicos é considerado como importante transformador de matéria orgânica em nutrientes. A geomorfologia do ambiente permite que a vegetação do manguezal atue como fixadora dos solos instáveis, uma vez que as plantas acompanham a sedimentação, estabilizando as margens estuarinas e costeiras (ALVES, 2002).

Por suas características e importância, os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP). Embora não tenham sido assim caracterizados diretamente no Código Florestal de 1965, a Resolução CONAMA 303/02 clarificou esta questão, tratando os manguezais como APP, em toda sua extensão e, dando maior proteção a esses ambientes, esclarecendo que a intervenção só é permitida quando declarada utilidade pública (BORGES et al., 2009). Entretanto, na prática, as zonas costeiras do mundo em desenvolvimento são muitas vezes muito povoadas e, em muitas regiões tropicais, as concentrações de população urbana também coincidem com a existência do ecossistema manguezal (CRONA et al., 2009). Dessa maneira, os manguezais situados em áreas de ocupação urbana, em muitos casos, estão sujeitos a impactos como: desmatamento, aterro, lançamento de efluentes domésticos e industriais, entre muitos outros. O crescimento populacional tem promovido a redução dos manguezais, impactando essas áreas, descaracterizando a vegetação natural, comprometendo os processos de erosão e sedimentação, alterando a bacia de drenagem do rio, impermeabilizando o solo, alterando o equilíbrio da biota, com extinção de espécies, além de outros problemas.

A bacia do rio Passa Vaca tem toda sua drenagem localizada, atualmente, em área urbana da cidade de Salvador (BA) e o seu baixo curso se destaca por abrigar o último remanescente de ecossistema manguezal da chamada parte alta da cidade de Salvador.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar biogeoquimicamente o manguezal do rio Passa Vaca, no município de Salvador, Bahia, sob influência de impactos de atividades antrópicas urbanas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer as relações da biota com impactos provenientes das ações antrópicas;
- avaliar as inter-relações dos parâmetros não conservativos: pH, Eh, Oxigênio Dissolvido (OD), Salinidade e condutividade, com o comportamento das espécies químicas e biológicas estudadas;
- avaliar os teores dos elementos Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Al nas folhas e nos sedimentos de superfície, e também Mg nas folhas;
- compreender as características dos sedimentos de superfície quanto a granulometria, teores de P, de Carbono Orgânico Total (COT), N; e, aliado a isto, avaliar os isótopos de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e de carbono ($\delta^{13}\text{C}$).
- caracterizar a fonte e a distribuição da matéria orgânica do ecossistema em questão.
- avaliar a morfologia externa e interna das folhas das espécies *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.
- conhecer o grau de desenvolvimento estrutural e a distribuição da vegetação ao longo do estuário.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do rio Passa Vaca pertence à bacia do rio Jaguaribe, segundo os estudos ambientais para o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) e a Secretaria de Planejamento (SEPLAN), valendo ressaltar que sua inclusão à bacia do rio Jaguaribe é para fins de planejamento, já que a mesma é uma bacia distinta. A bacia do rio Passa Vaca está localizada entre as coordenadas S 12° 58 e 12° 56, W 38° 24 e 38° 25 , possuindo uma área de 3,76 Km² (Figura 1) ocupada por vestígios do Bioma Mata Atlântica altamente degradado em todo seu alto curso. O curso principal nasce próximo a uma das maiores avenidas da cidade de Salvador (Avenida Luiz Viana Filho ou Paralela), tendo afluentes até quarta ordem, havendo alternância de canais intermitentes e perenes para seus afluentes (ALMEIDA, 2009).

A área abrangida por este estudo está restrita ao estuário do rio Passa Vaca no baixo curso da bacia (Figura 2). Em 1980 este manguezal possuía uma área original de 50 mil m², mas que hoje está reduzida a apenas 14 mil m², devido à implantação de projetos imobiliários, clubes recreativos e escolas (CAETANO, 2003).

As espécies obrigatórias de manguezal que colonizam esse estuário são: *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (mangue branco) e *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho). Além disso, coexistem na área muitos indivíduos de outras espécies não típicas de manguezal, como por exemplo, a *Terminalia catappa* L. (amendoeira) e a *Musa paradisiaca* L. (bananeira).

Segundo a classificação de Lugo e Snedaker (1974) e Cintrón et al. (1980), as florestas de manguezais estudadas são do tipo fisiográfico ribeirinho, as quais margeiam rios e canais de maré e exibe melhor desenvolvimento estrutural quando comparadas aos outros tipos fisiográficos (franja e bacia).

Utilizando a classificação climática de Köppen (1928), o clima poder ser considerado do tipo “Af”, tropical úmido, sem estação seca marcante. A temperatura observada por estudos realizados por mais de 30 anos, indicam uma média anual máxima de 26,3°C e a media anual mínima de 23°C, tendo a amplitude térmica diária durante esse período variado de, aproximadamente, 4°C. A área possui ainda alto índice pluviométrico, como todo o resto da cidade de Salvador, sendo a precipitação com chuvas por pancadas intermitentes (BAHIA, 1974).

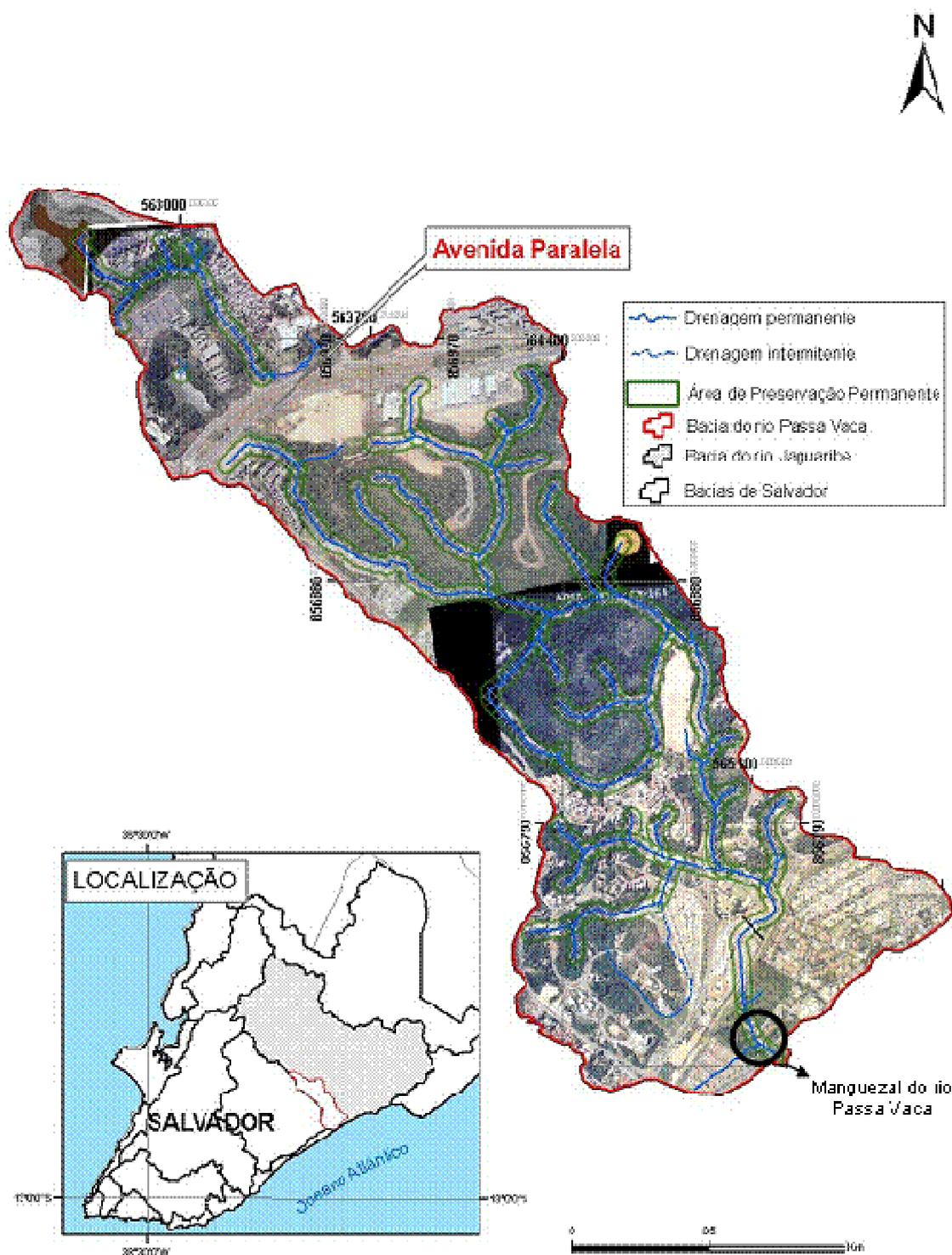


Figura 1: Mapa da Bacia Hidrográfica do rio Passa Vaca (Salvador – BA), 2007 (ALMEIDA, 2009).

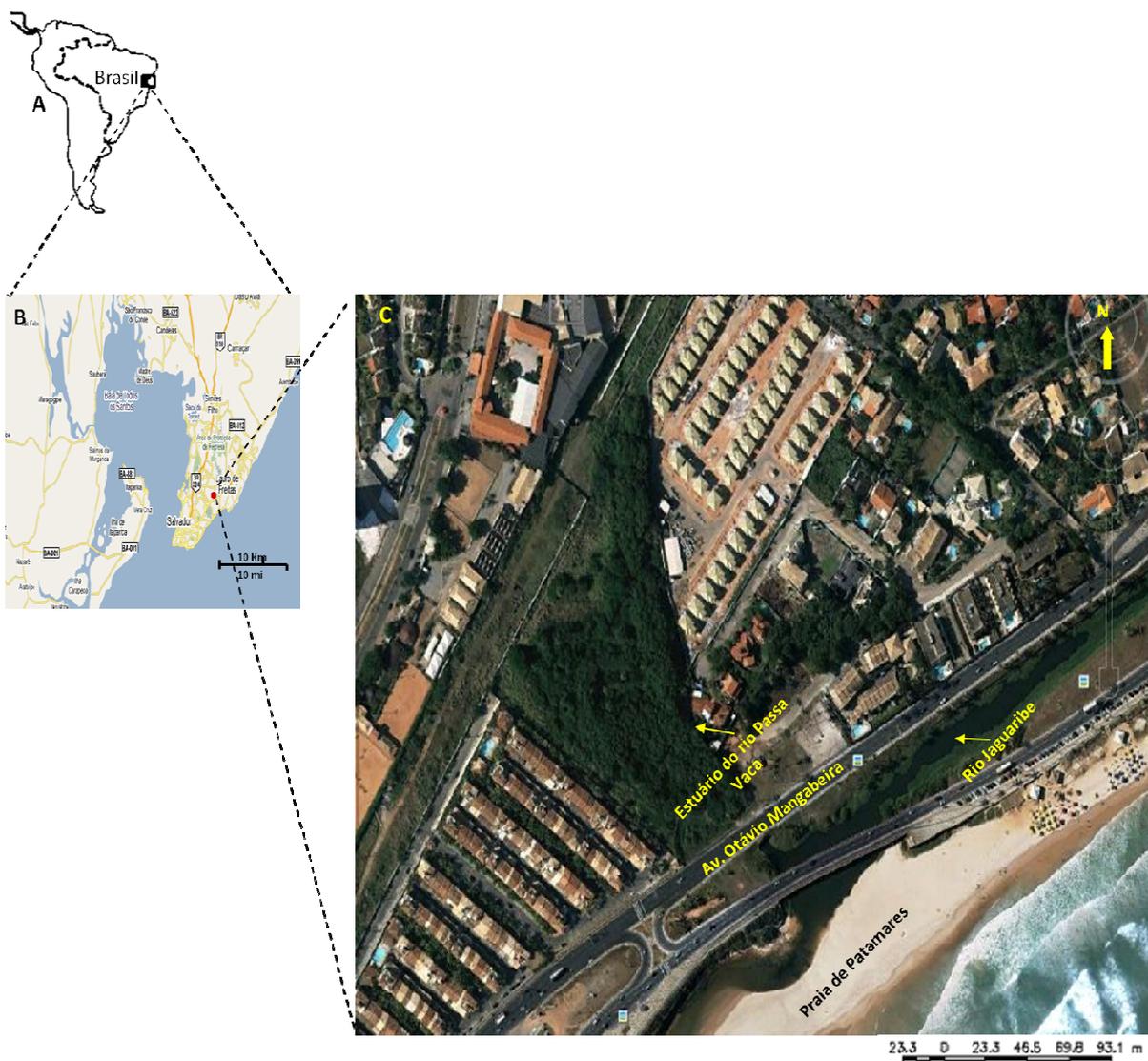


Figura 2: Localização da área de estudo no estuário do rio Passa Vaca situado na Avenida Otávio Mangabeira, Bairro de Patamares, Salvador-BA. A –Visualização na América do Sul e Brasil; B –Situação em planta no município de Salvador; C – Vista aérea do estuário do rio Passa Vaca.

Em toda a sua extensão o rio Passa Vaca sofre algum tipo de impacto ambiental, como assoreamento, esgoto “*in natura*”, ocupação desordenada (FIGURA 3A e B), inundação nas margens, eutrofização e desmatamento de mata ciliar.

A forte pressão imobiliária na bacia tem provocado modificações na paisagem, redução da área de captação da bacia, alteração na rede de drenagem, diminuição do volume hídrico e da capacidade de infiltração, as quais são originadas principalmente da construção da Avenida Paralela (Avenida Luis Viana Filho), que isolou a parte alta da bacia onde existem algumas nascentes da parte baixa (Figura

3C). No baixo curso do rio, representado por terras baixas, onde está localizado o manguezal, houve a canalização da foz do rio e a construção de uma ponte (Figura 3D), correspondendo à Avenida Otávio Mangabeira na orla leste de Salvador, diminuindo consideravelmente a dinâmica de aporte de água salgada ao ecossistema manguezal, contribuindo para a ruptura do já frágil equilíbrio existente (TORRES; ALMEIDA, 2008).

As inúmeras construções na bacia em questão resultaram no desmatamento dos ecossistemas locais, dentre eles o manguezal, e modificações nas formas de relevo, alterando o estado fisiográfico natural da mesma.

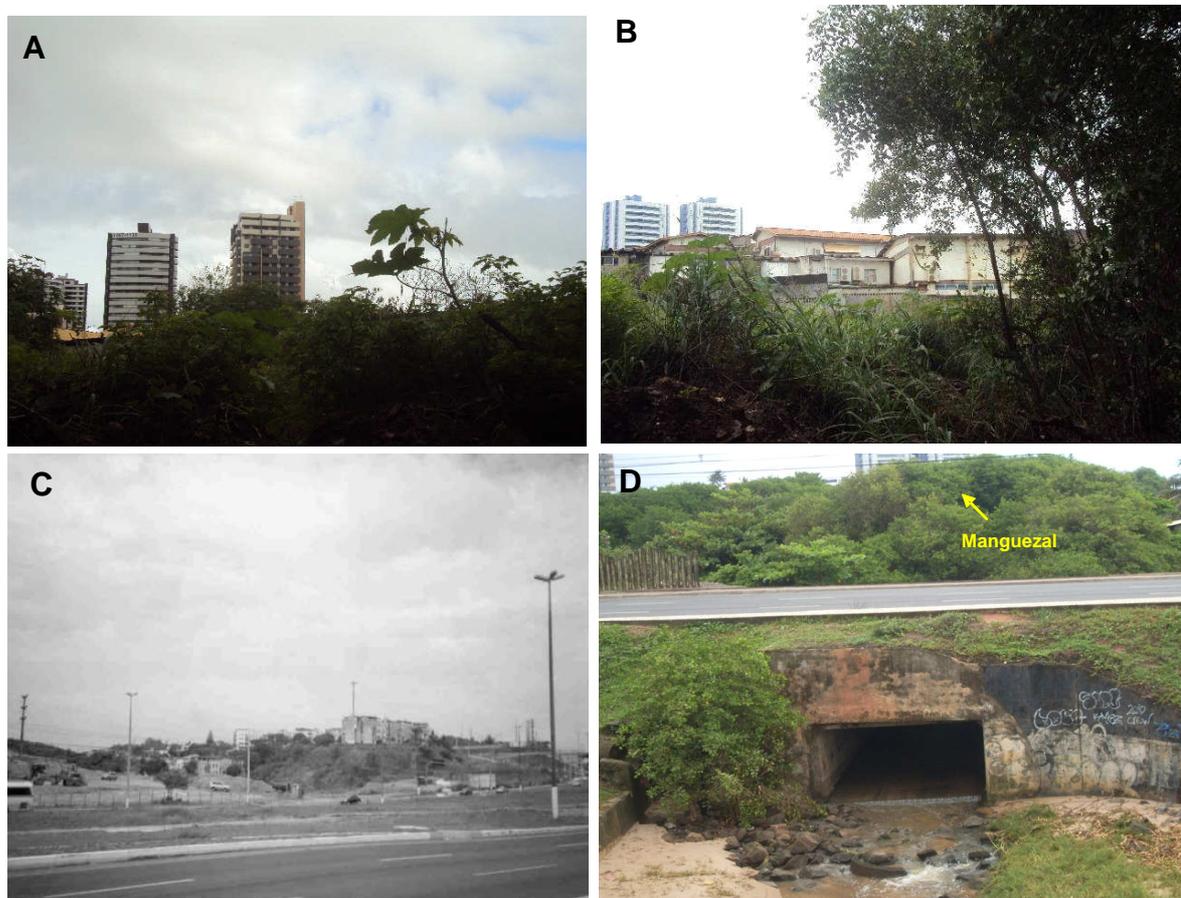


Figura 3: Ocupação da bacia do rio Passa Vaca, Salvador, BA. A e B - Empreendimentos imobiliários instalados próximos à área de estudo; C- Área da bacia interceptada pela Avenida Paralela, no alto curso da bacia (TORRES; ALMEIDA, 2008); D- Canalização na foz do rio.

4 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Devido ao crescimento desordenado das metrópoles e aos grandes impactos ambientais nas cidades metropolitanas, como observado na cidade do Salvador, o estudo de bacias urbanas se torna cada vez mais necessário (TORRES; ALMEIDA, 2008).

O lançamento de efluentes domésticos no meio ambiente pode influenciar o aumento da matéria orgânica e de microorganismos, tornando o ambiente redutor e promovendo a solubilização de elementos químicos. Essas mudanças podem promover um desequilíbrio ambiental e afetar diretamente a biota local.

Muitos trabalhos têm relatado que a ocorrência de fatores estressantes, causados por determinados tipos de impactos ambientais, promovem alterações anatômicas, morfológicas e fisiológicas nos vegetais (OLIVEIRA, 2000; ARAÚJO 2000; GARCIA et al., 2008; GONÇALVES, 2010). Também, as modificações do tecido foliar tem sido descrita como bioindicador do estudo ambiental, demonstrando que a redução da superfície foliar pode ser um dos indicadores de alteração na sua fisiologia (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Vale destacar que a comunidade vegetal representa papel chave na circulação dos elementos, sendo, portanto, essencial determinar a sua composição química (BERNINI et al., 2006). Assim, o estudo biogeoquímico é de extrema importância para áreas de manguezal, podendo auxiliar na identificação dos principais fatores que propiciam as possíveis contaminações na área de estudo e no conhecimento da dinâmica das espécies vegetais submetidas a prováveis impactos ambientais. Com o estudo das folhas pode ser possível verificar alterações na composição química e morfo-anatômicas das espécies submetidas à contaminação.

O estudo comparado, da composição química entre o sedimento e as folhas, pode fornecer informações importantes à cerca da reciclagem dos elementos químicos pelas espécies estudadas no manguezal e, conseqüentemente, no ecossistema costeiro adjacente.

O estudo fitossociológico, por sua vez, permite inferências à cerca da maturidade do bosque estudado e do grau de desenvolvimento das espécies presentes.

A pressão imobiliária a qual o ambiente estuarino do rio Passa Vaca vem sendo submetido, sua resistência no local e o conhecimento da dinâmica desse

ecossistema são de fundamental importância para sua preservação. Vale destacar também que se trata de um trabalho pioneiro neste manguezal urbano, uma vez que não foram encontrados trabalhos que abordassem uma avaliação e caracterização biogeoquímica do referido manguezal.

É possível ainda ressaltar as prováveis contribuições obtidas com este trabalho, no que diz respeito aos estudos anatomo-morfológicos em áreas de manguezal, permitindo o embasamento de futuros trabalhos que venham a ser desenvolvidos sobre o tema.

5 REVISÃO DA LITERATURA

5.1 O ECOSISTEMA MANGUEZAL

Manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ecossistemas terrestres e marinhos, característicos de regiões tropicais e subtropicais, sujeitos ao regime das marés. Eles são constituídos de espécies vegetais lenhosas típicas, além de micro e macroalgas, adaptadas à flutuação de salinidade, caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (SHAEFFER-NOVELLI, 1995). Os manguezais americanos apresentam sete espécies típicas, pertencentes a quatro gêneros distintos: *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* e *Conacarpus* (SHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 1986).

A fauna é bastante numerosa e diversa. Habitam esse ecossistema: peixes, aves, répteis, mamíferos, crustáceos, moluscos e insetos. Alguns desses animais residem no manguezal por todo o ciclo de vida e outros, como algumas espécies de aves e peixes, podem utilizar esse ambiente como local de reprodução e desenvolvimento. As espécies mais comuns nas regiões de manguezal do Brasil são: *Ucides cordatus* L. (caranguejo verdadeiro), *Goniopsis* sp (aratu), *Aratus* sp (marinheiro), *Uca* sp (uçá), *Cardisoma* sp (gaiamum), *Callinectes danae* Smith (siri), *Cassostrea* sp (ostra), *Anomalocardia brasiliana* Gmlin (papa fumo), *Litorina angulifera* Lam. (caramujo), *Melanpus coffeus* L. (caramujo) e *Mytella* sp (mexilhões). (ARAÚJO, 2000).

Entre os peixes marinhos que durante parte de seu ciclo de vida visitam as zonas de manguezal, é possível citar: *Mugil* sp (tainha), *Centropomus* sp (robalo), *Sardinella* sp (sardinha), *Tachisurus* sp (bagre) dentre os principais (ARAÚJO, 2000).

Nos substratos do manguezal, o principal processo de adição que se pode evidenciar é o de material orgânico proveniente da vegetação (folhas e galhos) e da decomposição de raízes mortas. Este processo fica claramente evidenciado nesses substratos pela distribuição dos valores de carbono orgânico no perfil, onde os maiores valores aparecem na superfície, diminuindo com a profundidade. O comportamento dos valores observados de carbono orgânico evidencia o papel da vegetação no aporte de matéria orgânica para o solo (VIDAL-TORRADO et al., 2005). De modo geral, o manguezal constitui um patrimônio energético de áreas estuarinas e costeiras, além de ser uma importante fonte de alimento e renda para as populações ribeirinhas (ARAÚJO, 2000).

As marés são o principal mecanismo de penetração das águas salinas nos manguezais e a biota que constitui esse ecossistema foi adaptada à flutuação de salinidade, caracterizada por colonizar zonas predominantemente lamosas, com baixos teores de oxigênio (SHAEFFER-NOVELLI, 1995). Devido às inundações periódicas pelas marés, em muitas florestas de manguezal a troca de material, sobretudo de matéria orgânica e nutrientes, em águas costeiras, pode ser muito eficiente (KRISTENSEN, 2008).

5.2 IMPACTOS SOBRE MANGUEZAIS EM ÁREAS URBANAS

A demanda mundial por materiais e energia vem crescendo, em ritmo acelerado, desde os meados do século passado. Apesar dos controles cada vez mais rígidos das emissões de fontes antrópicas, o crescimento da demanda resulta em um incremento da liberação no meio ambiente de subprodutos capazes de aumentar, significativamente, a pressão de contaminação dos ecossistemas naturais. Entretanto, os ecossistemas naturais possuem diferentes capacidades de suporte às diferentes atividades antrópicas. Dessa maneira, a sensibilidade destes aos impactos ambientais depende das características ecológicas e biogeoquímicas de cada região em particular (LACERDA, 2007).

As regiões estuarinas se caracterizam pelas grandes diversidades de ambientes, potencialmente disponíveis, para a colonização, refúgio e criadouro de espécies economicamente importantes e, em conseqüência, possuem energia suficiente para sustentar os ambientes costeiros. Entretanto, essas áreas, de evidente importância ecológica e econômica, têm sofrido progressivas perturbações nas últimas décadas, principalmente por conta das atividades antrópicas, como o urbanismo, industrialização e despejo de efluentes (SIQUEIRA et al., 2004).

O aumento da população em regiões costeiras tem pressionado e tensionado o ecossistema manguezal através de atividades como: desmatamento e aterro, para expansões urbanas, industriais e portuárias; lançamento de efluentes domésticos e industriais; super exploração de seus recursos naturais como extração de madeira e fauna e desmatamento para criação de áreas de cultivo. As conseqüências das ações supracitadas têm promovido a redução das áreas de manguezal, com descaracterização da vegetação natural, ampliando os processos de erosão, alterando as características de bacias de drenagem de rios, impermeabilizando solos,

alterando o equilíbrio da biota, com extinção de espécies, dentre outros.

É possível acrescentar ainda que atualmente grande parte dos problemas de contaminação ambiental se origina na emissão de fontes difusas de difícil controle e mesmo de quantificação (LACERDA, 2007), fato que maximiza ainda mais os impactos sobre os ecossistemas naturais.

O lançamento de esgotos domésticos, com ou sem tratamento prévio, em ambientes aquáticos afeta a qualidade da água do sistema receptor, provocando redução do oxigênio dissolvido, aumento da turbidez, mudanças do pH, entre outros efeitos, e tem reflexos sobre a manutenção das condições ideais para a sobrevivência dos organismos e sobre a saúde humana (CARREIRA et al., 2001).

O acúmulo de resíduos sólidos, principalmente os não biodegradáveis, propicia a diminuição da vazão do rio e conseqüentemente leva ao assoreamento. A redução do escoamento das águas doces para o mar e a diminuição do fluxo das marés para o interior do estuário promove modificações, não apenas na constituição química da água, como também da sua dinâmica ambiental. Já os resíduos sólidos biodegradáveis influenciam no aumento de matéria orgânica no ambiente, o que favorece o aumento de microorganismos. Estes consomem grandes quantidades de oxigênio, tornando o ambiente redutor. Com isso, há ainda o aumento da concentração de compostos de enxofre, que contribuem para a diminuição do pH do meio, o que pode ajudar na solubilização de uma série de elementos químicos, ficando estes liberados para passarem para a cadeia trófica (ARAÚJO, 2000).

O ecossistema manguezal está sendo, na área estudada, degradado a taxas alarmantes, e em todo mundo é possível testemunhar igualmente grandes perdas. Assim, dado o impacto potencial elevado de manguezais na sedimentação de matéria em suspensão, na troca de matéria orgânica e nutriente com as águas costeiras, tais perdas elevadas ou a degradação grave do seu funcionamento pode ser esperada para coincidir com mudanças importantes nas contribuições de carbono das zonas costeiras (KRISTENSEN et al., 2008).

5.3 A VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL

Nos ecossistemas que estão sujeitos a constantes variações das condições internas, as plantas desenvolvem mecanismos para sobreviver às variações. As mudanças morfológicas em plantas muitas vezes são os resultados de alterações nos

processos fisiológicos, levando a respostas adaptativas em fenômenos básicos como a fotossíntese, transporte de água e de nutrientes, podendo resultar em mudanças da taxa de crescimento e/ou forma de crescimento (BLOM, 1999). Degano (1999) afirma que os vegetais que vivem em condições de salinidade elevada dispõem de diversos mecanismos com os quais podem regular e manter as concentrações internas de íons. A vegetação de manguezal possui adaptações morfológicas que permitem sua sobrevivência em ambientes com elevadas concentrações de sais, como: reprodução vivípara; ramos lenhosos com folhas coriáceas; folhas em posição vertical; paredes celulares epidérmicas espessas e fortemente cutinizadas; presença de hidatódios; estômatos unidos com tecido aquífero muito desenvolvido; células pétreas largas e tecido mecânico entre as células do tecido paliçádico (TOMLINSON, 1986).

As halófitas, que são plantas com habilidade para suportar altos níveis de salinidade, podem conter ainda glândulas de sal, possibilitando ao vegetal eliminar o excesso de cloreto, derivado do ácido clorídrico, absorvidos da água salobra. A excreção do sal requer gasto de energia, favorecendo o crescimento em habitats salinos e também protege o vegetal contra herbivoria (GARCIA, 2005). Além disso, a maioria dos vegetais halófitos neutraliza o excesso de sal precipitando-os sob a forma de cristais (TOMLINSON, 1986).

5.3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

5.3.1.1 *Rhizophora mangle* L.

A *Rhizophora mangle* L, popularmente conhecida como mangue vermelho, é uma espécie de hábito arbóreo, com árvores atingindo tamanhos de 6m em média e inúmeras ramificações. Essa pertence à Classe Dicotyledoneae, ordem Myrtiflorae e família Rhizophoraceae. Essa espécie é vivípara, ou seja, as sementes germinam enquanto o fruto ainda está ligado à planta-mãe, sendo disperso pelas correntes marinhas (DUKE; ALLEN, 2006). As estruturas reprodutivas ao amadurecerem caem como lanças apontadas para baixo, enterrando-se no sedimento na maré baixa. Um dos aspectos de maior destaque dessa espécie está na existência de estruturas que se projetam de várias posições do caule em direção ao solo, denominadas rizóforos. Essas, na verdade, são ramos especiais do caule com geotropismo positivo e apresentam características bastante peculiares como, por exemplo, interior esponjoso e presença de lenticelas (estruturas que permitem as trocas gasosas). Os

rizóforos partem diretamente do tronco e dos ramos da árvore, promovendo a sustentação e a troca de oxigênio com a atmosfera (SUGIYAMA, 1995; VIDAL-TORRADO et al., 2005).

Com relação ao gênero *Rhizophora*, vale destacar que esse, de modo geral, tem desenvolvimento melhor em solos siltosos rasos, inundados por água salobra e protegidos da ação direta das ondas e do oceano, posicionados em locais com abundância de água natural e elevados índices de pluviosidade. Os solos que sustentam esse tipo de mangue normalmente apresentam valores de pH elevados, relação C/N alta, e elevados teores de enxofre oxidável, nitrogênio, fósforo e carbono. Eles ocupam geralmente as margens dos rios e suas planícies de inundação, onde o aporte de nutrientes é elevado (JIMENEZ, 1985).

Para manter a homeostase essa espécie possui um sistema fisiológico que possibilita a filtração da água salgada por meio da absorção dos sais pelas raízes, permitindo, assim, a regulação dos níveis de concentração interna de sais na planta.

5.3.1.2 *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn

Esta espécie pertencente também à classe Dicotyledoneae e à ordem Myrtiflorae, conhecida como mangue branco, rasteiro, canapomba ou manso, enquadra-se na família Combretaceae. Ela difere das outras espécies por apresentar um menor porte, podendo, às vezes, aparentar um hábito arbustivo, as folhas têm pecíolo vermelho com duas glândulas em sua parte superior. Quanto ao sistema radicular, a *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn apresenta pneumatóforos, que consistem em raízes aéreas que permitem, através das lenticelas, a realização de trocas gasosas e a consequente aeração do sistema radicular (SUGIYAMA, 1995; VIDAL-TORRADO et al., 2005).

Em relação à reprodução, também ocorre por viviparidade, com sementes de quase três centímetros de diâmetro, sendo que seu pericarpo pode resistir até 30 dias, desprendendo-se da planta mãe após o enraizamento (RAMOS, 2002)

O gênero *Laguncularia*, em geral, consegue se desenvolver bem nos mais diversos tipos de solos, desde arenosos a argilosos. Eles se posicionam, normalmente, em locais com presença de água salobra e posição elevada ou interna onde a frequência e a intensidade das marés é menor. Por ser uma planta que possui um sistema de excreção para a regulação salina (glândulas de sal), o mangue branco é capaz de suportar os mais diversos níveis de salinidade (JIMENEZ, 1988).

5.4 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO FITOSSOCIOLÓGICO EM MANGUEZAIS

A arquitetura dos bosques de manguezais é uma expressão do resultado da interação entre as características de crescimento das espécies arbóreas, seus requisitos fisiológicos e as variáveis ambientais que operam no ecossistema (SCHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 1986).

Parâmetros estruturais como área basal, densidade e altura média de um bosque, são ferramentas de extrema importância e objetividade no estudo do ecossistema manguezal (NASCIMENTO, 2007). A descrição estrutural fornece uma idéia do grau de desenvolvimento, além de permitir a identificação e a delimitação de bosques com propriedades semelhantes, permitindo realizar comparações entre áreas diferentes (SCHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 1986).

A zonação das espécies de manguezal é variável de um manguezal para outro, devido às peculiaridades ambientais de cada local. Assim, a zonação do manguezal depende da salinidade, das marés, do tipo de substrato e do grau de energia do local, ou seja, se o local é ou não protegido da ação das ondas, marés e rios (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Por isso, é importante o estudo integrado das variáveis ambientais com os parâmetros estruturais dos bosques.

5.5 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E ANATOMO-MORFOLÓGICA NA VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL DE ÁREAS IMPACTADAS POR ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Muitos trabalhos têm relatado que a ocorrência de fatores estressantes, causados por determinados tipos de impactos ambientais, podem promover alterações anatômicas, morfológicas e fisiológicas nos vegetais (BLOM, 1999; OLIVEIRA, 2000; ARAÚJO, 2000; GARCIA, 2005; MARTINS et al, 2007; GONÇALVES, 2010).

Entre os órgãos da planta a folha é um órgão altamente variável em estrutura, função, forma e tamanho. A fotossíntese é a mais importante função realizada por este órgão, que é altamente especializado, tanto estrutural como fisiologicamente, para realizá-la. Além disso, a folha possui outras funções também notáveis, como a respiração, transpiração, condução e reserva (VANNUCCI; REZENDE, 2003).

As folhas são os órgãos que melhor refletem o estado nutricional dos vegetais,

e comumente utiliza-se o método de diagnose foliar (em que se analisa o estado nutricional das plantas em períodos definidos de suas vidas) em estudos de avaliação de impactos (MALAVOLTA et al.,1997).

Alguns sintomas podem ser indicativos de problemas ambientais. O amarelecimento das folhas, a senescência precoce e a diminuição do tamanho das folhas, devido ao menor número de células, o baixo teor de clorofila, cloroplastos e núcleos pequenos, são sintomas, por exemplo, da falta de nitrogênio e o excesso deste pode resultar em redução da frutificação. Por outro lado, o excesso de fósforo, dentre outros fatores, pode resultar em competição deste com alguns micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) por sítios de ligação nas raízes das plantas, no momento da absorção de nutrientes do solo, o que resulta na deficiência destes micronutrientes no vegetal (MALAVOLTA et al.,1997).

Certas deficiências nutritivas parecem aumentar a incidência ou o dano causado por pragas e moléstias em plantas (MALAVOLTA, 1997). Galhas, por exemplo, são crescimentos especializados em tecidos vegetais, induzidos por algum vírus, bactérias, fungos, nematóides, ácaros e insetos, que uma vez instalados na folha obtêm desta alimento e abrigo (ARDUIN; KRAUS, 2001).

A diagnose visual a partir da observação e estudo da morfologia externa das folhas também pode ser feita obtendo-se bons resultados. Para isto, devem ser observadas as características externas do limbo quanto à presença e intensidade de alterações como: bordos revolutos (enrolamento das bordas para face abaxial), galhas, manchas escuras, pastejo, perfurações e amarelecimento precoce, Essas alterações são comuns em plantas de manguezais impactadas por ações antrópicas, como ilustrado por Garcia, Oliveira e Araújo (2008).

A análise da biometria das folhas também tem sido usada como indicadora de qualidade ambiental, pois a redução da superfície foliar sugere uma alteração no seu desenvolvimento (SCHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 1986).

Assim, as alterações nos processos fisiológicos das plantas podem resultar em muitas mudanças morfológicas. O exemplo está nas folhas das angiospermas que apresentam grande variação de estruturas, devido à disponibilidade ou não de água. Desta forma, as plantas de manguezal, por habitarem um meio com elevadas concentrações de sais, possuem muitas adaptações para manter a homeostase.

Algumas dessas e outras adaptações e/ou alterações podem ser verificadas com o estudo integrado da morfologia interna e externa, que, por sua vez, podem

ser comparados com a avaliação nutricional dessas plantas para melhores discussões.

5.6 AVALIAÇÃO DE METAIS

Os manguezais ocorrem preferencialmente em áreas de baixa energia hídrica e elevada sedimentação, características típicas de regiões estuarinas. Em áreas urbanas e industriais, observa-se um desmatamento generalizado, erosão de litorais e altos índices de contaminação. Dentre os principais contaminantes nestas áreas, os metais pesados desempenham papel de destaque relacionado com a ecotoxicologia, uma vez que se acumulam naturalmente em áreas estuarinas e possuem efeito deletério de longo prazo sobre os vários componentes dos ecossistemas naturais (LACERDA, 1994).

A grande quantidade de metais emitidos por atividades humanas nos últimos dois séculos pode ser encontrada, em várias situações, passível de remobilização por processos antrópicos, naturais e, principalmente, pelas variações climáticas globais e de mudanças no uso dos solos. Uma vez que a relação carga/efeito não depende mais da dimensão das emissões pontuais e sim de emissões de fontes difusas e dos processos de remobilização dos metais acumulados no meio, torna-se muito mais importante conhecer os processos biogeoquímicos controladores da dinâmica de metais no ambiente (LACERDA, 2007).

A sensibilidade dos ecossistemas naturais aos impactos ambientais depende das características ecológicas e biogeoquímicas de cada região em particular, incluindo as próprias atividades humanas instaladas, isto é, da capacidade suporte de um dado ecossistema às diferentes atividades antrópicas possíveis de serem instaladas no ambiente. O ecossistema manguezal, por exemplo, possui uma elevada capacidade de acumulação de metais. Sua dinâmica resulta na mobilização de sedimentos enriquecidos em metais e sua liberação e disponibilização, para incorporação biológica (LACERDA, 2007).

Os sedimentos de manguezal possuem características variáveis em função das suas diferentes origens. Devido às condições dominantes no manguezal, metais podem ser acumulados em seus sedimentos, onde parte pode ficar disponível para a incorporação biológica e/ou sair do sistema pelo fluxo da maré e serem disponibilizados para ecossistemas marinhos adjacentes (OLIVEIRA, 2000).

O acúmulo de resíduos sólidos biodegradáveis pode ser um agravante aos fatores supracitados, podendo influenciar no aumento da matéria orgânica e microorganismos, tornando o ambiente redutor e, com isso, promovendo a solubilização de elementos químicos no meio.

O ciclo da matéria orgânica através da produção de serrapilheira, decomposição e transporte das marés, pode, eventualmente, exportar uma fração dos metais pesados acumulados e, portanto, transmiti-los ao longo das cadeias alimentares nas águas costeiras adjacentes (SILVA et al., 2006). Entretanto, Silva et al. (1998) inferiram que o ecossistema manguezal é provavelmente uma barreira geoquímica eficaz para o transporte de metais em zonas costeiras.

Os estuários são sistemas dinâmicos, que se movem e mudam constantemente em resposta aos ventos, às marés e ao escoamento do rio. Numa visão cíclica, um poluente entrando num estuário por rota pontual ou difusa, é controlado pela hidrodinâmica resultante do encontro das águas marinhas e fluviais sob a influência das marés, distribuindo-se por duas fases, dissolvida e particulada, de acordo com as condições ambientais (GARCIA, 2005).

A fase particulada de um poluente está associada às partículas em suspensão, podendo então se depositar no fundo, e ter, assim, uma residência mais duradoura ou ser ressuspensa com os sedimentos e voltar para a coluna de água. A fase dissolvida que circula no estuário depende do equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes das águas intersticiais, contaminadas ou não, sendo por fim exportada para o oceano. Dessa maneira, os sedimentos são reconhecidos como transportadores e possíveis fontes de contaminação dos sistemas aquáticos, já que tais materiais podem liberar contaminantes, como consequência de trocas ambientais ou das condições físico-químicas (JESUS et al., 2004).

A disponibilidade dos metais nos sedimentos depende da força de interação ligante/suporte. Alguns dos importantes suportes geoquímicos são: óxidos de ferro, de manganês, matéria orgânica (ácidos húmicos) e sulfetos metálicos (JESUS et al., 2004). O entendimento da dinâmica do meio estudado pode ser mais bem compreendido através das observações das correlações existentes, nos sedimentos de manguezal, entre a matéria orgânica e os metais. Os sedimentos de manguezal são geralmente de granulometria fina, ricos em matéria orgânica e inundados diariamente pela maré. A decomposição microbiana da matéria orgânica torna o

ambiente do sedimento redutor, devido ao consumo de O_2 e a baixa difusão deste no sedimento. Nessa situação a liberação de íons sulfeto é atribuída à redução dissimilatória de sulfato por bactérias nos sedimentos anóxicos de manguezal, durante períodos sem atividade fotossintética significativa. Durante a diagênese da matéria orgânica nos sedimentos, as condições anaeróbicas aliadas à composição química relativamente refratária à decomposição desta matéria orgânica resultam na sua decomposição apenas parcial, com a liberação de compostos orgânicos dissolvidos (COD) para a água intersticial (LACERDA, 1994).

O comportamento destes subprodutos da sulfato-redução, sulfeto livre e COD, são distintos, mas afetam diversas outras substâncias presentes na água. Como resultado, os sulfetos são rapidamente precipitados por metais presentes em solução ou transformados em sulfatos quando oxidados. Por outro lado, os COD permanecem em solução podendo complexar metais presentes na água e, assim, serem exportados para as águas costeiras adjacentes, onde poderão servir à cadeia trófica detritívora destes ambientes ou serem exportados para águas mais profundas (LACERDA, 1994).

Para avaliar a capacidade de retenção de metais em ecossistema manguezal, de maneira prática, deve-se determinar a proporção de concentrações de metais operacionalmente definidos nos sedimentos em formas potencialmente disponíveis para remobilização (através do procedimento de fracionamento). Além disso, a determinação de concentrações de metais em plantas de manguezais pode ser utilizada para avaliar o potencial de perda de metal da floresta através da exportação de detritos (MACHADO et al. 2002).

Machado et al. (2002), estudaram o rastreamento de retenção de metais em ecossistema manguezal afetado por diversas fontes urbanas e industriais de contaminantes metálicos. Os autores perceberam que os manguezais podem manter a sua carga de metais nos sedimentos predominantemente sob formas com um baixo potencial de remobilização e absorção biótica, mesmo com as condições ambientais contrastantes das áreas estudadas (por exemplo, o grau de contaminação por metais e de desenvolvimento estrutural da floresta). Dessa forma, uma atribuição de metais relativamente baixa nas folhas parece efetivamente reduzir a exportação dos metais por meio de transporte na serapilheira, bem como a disponibilidade de metais para entrar nas cadeias alimentares baseada no consumo de folhas.

A observação de Machado et al. (2002) pode ser aplicada em muitas áreas de

manguezal, uma vez que suas plantas geralmente induzem alterações na composição química de sedimentos, devido ao bombeamento de oxigênio da folha para a raiz e desta para a rizosfera (região do solo influenciada pelas raízes, com máxima atividade microbiana). Assim, a solubilidade de metais como Fe e Mn diminui e sulfetos são rapidamente oxidados a sulfato, diminuindo significativamente a toxicidade dessas substâncias e resultando na formação das chamadas “placas-de-ferro” ao redor das raízes. Estas alteram significativamente as condições físico-químicas ao redor das raízes, formando uma barreira à absorção de metais (LACERDA, 1994).

Lacerda (1994) realizou experimentos para caracterizar a importância das placas-de-ferro como barreiras biogeoquímicas a incorporação de metais em árvores de *Rhizophora mangle* L. Os resultados obtidos pelo autor demonstraram que menos de 1% dos metais pesados nos sedimentos da rizosfera desta espécie encontraram-se potencialmente disponíveis para a absorção pela planta. Além disso, o autor também estudou a concentração de metais em diferentes órgãos da *Rhizophora mangle* L. e demonstrou que a exceção do Mn, que apresentou maiores concentrações nas folhas, todos os demais metais (Fe, Zn, e Cu) apresentaram as maiores concentrações em raízes. Isso indica uma menor transferência dos citados metais, das raízes para as partes aéreas da planta.

Além destas, inúmeras outras evidências obtidas nas últimas décadas indicam que as espécies de manguezal são capazes de oxidar suas rizosferas através da translocação de oxigênio absorvido pelas lenticelas nas proporções superficiais do solo até as estruturas radiculares localizadas em sub-superfície, permitindo sua difusão para o solo do entorno (VIDAL-TORRADO et al., 2005). É possível destacar também que devido à alta porosidade em raízes de plantas tolerantes a inundações, a perda de oxigênio radicial influencia processos de nitrificação e desnitrificação nos solos alagados (BLOM, 1999).

Lacerda et al. (1985) demonstraram ainda que o mecanismo de controle de entrada de sal pode afetar a absorção de metais pesados. Pelo fato de *Rhizophora* ser um gênero sal-excludente enquanto que *Avicennia* e *Laguncularia* são considerados sal-includentes, o mecanismo de exclusão de sal presente na *Rhizophora mangle* L. evitaria a entrada de metais pesados como Fe, Zn e Cu, causando menor concentração destes elementos no tecido foliar, como observado por Bernini et al. (2006).

Lacerda et al. (1995) ao estudarem solos de manguezais na Baía de Sepetiba – RJ chegaram à conclusão de que os solos ocupados por *Rizophora mangle* L. apresentavam características mais redutoras e com altas concentrações de sulfetos. Assim, devido a maior acidez dos solos sob *Rhizophora mangle* L., os autores constataram que os solos de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leech possuem maiores teores de carbono orgânico e nitrogênio do que os solos de *R. mangle*. Com isso, os solos colonizados por *A. schaueriana* podem exportar mais nutrientes para os ecossistemas adjacentes possibilitando uma melhor reciclagem de elementos.

5.7 TRAÇADORES NATURAIS NO ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Traçadores químicos, como os isótopos estáveis, têm sido aplicados para identificar a origem e o destino da matéria orgânica nos ambientes costeiros, segundo Tremblay et al. (2007) e Loh et al. (2008). Isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) estão sendo usados não apenas para inferir as fontes de matéria orgânica (MO) e ciclagem, mas também para caracterizar a estrutura da cadeia alimentar nos ecossistemas costeiros (FREDRIKSEN, 2003; COLE et al., 2004; MCCALLISTER et al., 2004). No entanto, as contribuições relativas de múltiplas fontes para MO e estrutura trófica pode ser difícil de determinar por causa da sobreposição nas assinaturas isotópicas de diferentes componentes (CLOERN et al., 2002). Portanto, o uso simultâneo pode ajudar a superar algumas destas limitações (BAUER et al., 2002).

Além disso, nos últimos tempos, os níveis de $\delta^{15}\text{N}$ nos ecossistemas costeiros são elevados a $> 8\text{‰}$ em função, principalmente, das descargas de altas concentrações de efluentes de terras agrícolas, lagoas de aquicultura e os assentamentos domésticos (SAVAGE, 2005; MUTCHLER et al., 2007; LEPOINT et al., 2008). O acúmulo de fração enriquecida $\delta^{15}\text{N}$ em sedimentos está causando um enriquecimento gradual de $\delta^{15}\text{N}$ dentro das cadeias alimentares (KWAK; ZEDLER, 1997; COLE et al., 2004). Resultados assim, combinados de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ pode fornecer informações sobre as fontes da MO e estrutura trófica.

6 ARTIGOS

6.1 PARÂMETROS ESTRUTURAIS E AMBIENTAIS EM FLORESTA DE MANGUEZAL NO ESTUÁRIO DO RIO PASSAM VACA, SALVADOR - BAHIA, BRASIL.

Autores:

Consuelo Lima Navarro de Andrade

Karina Santos Garcia

Joil José Celino

Ronaldo Montenegro Barbosa

Submetido a Acta Botanica Brasilica em junho de 2011.

**Parâmetros estruturais e ambientais em floresta de manguezal no estuário do rio
Passa Vaca, Salvador - Bahia, Brasil.**

Consuelo Lima Navarro de Andrade¹

Karina Santos Garcia³

Joil José Celino^{1,3}

Ronaldo Montenegro Barbosa^{1,3}

RESUMO (Parâmetros estruturais e ambientais em floresta de manguezal no estuário do rio Passa Vaca, Salvador - Bahia, Brasil). A caracterização da fitossociologia, as composições físicas e químicas do substrato e as associações existente entre ambas foram estudadas no estuário do rio Passa Vaca, situado em área urbana da cidade de Salvador, Bahia, Brasil. Foram demarcados dois transectos nas margens do rio e nestes foi estudados um total de 15 pontos. As espécies que colonizam este manguezal são *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L., com maior densidade e dominância da primeira. O bosque estudado é do tipo ribeirinho e encontra-se em estágio maduro de desenvolvimento, com área basal variando de 0,28 a 62,2 m² ha⁻¹. Nos sedimentos foram encontradas concentrações de Cu e Fe acima do referenciado pela literatura em alguns pontos amostrados. Foram observadas correlações positivas entre as concentrações de P e as frações mais finas do sedimento com os metais avaliados, além associações entre os teores de C e N e os elementos Fe e Mn. Além disso, foram observadas correlações entre a temperatura do sedimento e a densidade de indivíduos mortos e associações entre densidade de *Rhizophora mangle* L. e a composição química do substrato. Os resultados indicaram que esta espécie apresentou maior sensibilidade aos impactos causados pela urbanização.

Palavras-chave: fitossociologia, manguezal, metais e sedimentos.

ABSTRACT (Environmental and structural parameters of mangrove forest in the estuary of the Passa Vaca river, Salvador - Bahia, Brazil). The phytosociological characterization, the physical and chemical compositions of the substrate and the associations between both were studied in the estuary of the River Passa Vaca, located in the urban area of Salvador, Bahia, Brazil. Two transects were marked along the river in these studied a total of 15 points. The species that colonize this mangrove are *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn and *Rhizophora mangle* L., with higher density and dominance of the first. The forest studied is the type riverside and is in the mature stage of development, with basal area ranging from 0.28 to 62.2 m² ha⁻¹. In some sampling points were found for Cu and Fe concentrations above referenced in the literature. It was also possible to establish positive relationships between concentrations of P and the finest fractions of sediment with metals evaluated, besides the content of C and N associated with Fe and Mn. In addition, correlations were observed between the temperature of the sediment and density of dead individuals and associations between density of *Rhizophora mangle* and chemical composition of the substrate. The results indicated that this species had a higher sensitivity to the impacts caused by urbanization.

Keywords: mangroves, metals, phytosociology, sediments.

¹ Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Barão do Geremoabo, Campus Ondina, Salvador, Bahia, Brasil

¹ Autor para correspondência: consul_navarro@hotmail.com

³ Núcleo de Estudos Ambientais, Departamento de Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Barão do Geremoabo, Campus Ondina, Salvador, Bahia, Brasil.

Introdução

Manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ecossistemas terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeitos ao regime das marés. É constituído de espécies vegetais lenhosas típicas, além de micro e macroalgas, adaptadas à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (Schaeffer-Novelli, 1995). Possui uma fauna numerosa e diversa e é fonte de renda para muitas populações ribeirinhas. Pelos seus aspectos biogeoquímicos é considerado como importante transformador de matéria orgânica em nutrientes e devido às inundações periódicas pelas marés, em muitas florestas de manguezal a troca deste material, com águas costeiras pode ser muito eficiente (Kathiresan & Bingham, 2001; Kristensen, 2008; Alongi, 2009).

No litoral do nordeste a baixa amplitude das marés, a pluviosidade reduzida e a configuração da costa limitam o desenvolvimento dos manguezais. Na Bahia estima-se que a área de manguezal seja aproximadamente de 1.000 km², distribuída ao longo de 1.181 km de costa (Ramos, 2002). Os maiores bosques estão entre os municípios de Valença e Maraú, e nos municípios de Canavieiras e Caravelas, no baixo sul da Bahia, ocupando uma área de 70.000 hectares (Martins *et al.*, 2011).

A arquitetura dos bosques de manguezal é uma expressão do resultado da interação entre as características de crescimento das espécies arbóreas, seus requisitos fisiológicos e as variáveis ambientais que operam no ecossistema (Schaeffer-Novelli e Citrón, 1986), auxiliando, assim, nos estudos e ações que objetivam a conservação desse ecossistema (Soares, 1999).

No manguezal, vários tipos de estresse aumentam com a distância da linha d'água, e os efeitos relacionados à inundação pelas marés (acúmulo de sais, granulometria, intensidade das ondas) resultam em condições que podem prejudicar o desenvolvimento das plantas (Fry *et al.*, 2000). Tomlinson (1986) afirma que a composição do substrato parece ser o indicativo mais preciso na determinação da distribuição das espécies de manguezal. Dessa forma, a estrutura vegetal dos bosques de manguezal é uma resposta direta às condições locais (Soares, 1999) e estudo integrado das variáveis ambientais com os parâmetros estruturais dos bosques torna-se importante para o conhecimento da dinâmica de manguezais submetidos à influência antrópica.

No entanto, existem ainda poucas informações que correlacionem os atributos estruturais com a dinâmica desse ecossistema no Estado da Bahia, tornando difícil a

determinação de um padrão estrutural para os manguezais neste Estado. Entretanto, devem ser destacados os trabalhos desenvolvidos em manguezais da Bahia: Souza et. al. (1996), na Ilha de Pati; Santos (2009) em Ilhéus e Cuzzuol & Campos (2001) no município de Mucuri.

Dentro deste contexto, os objetivos do presente estudo foram conhecer e caracterizar a fitossociologia de uma floresta de manguezal no estuário do rio Passa Vaca, situado em área urbana da cidade de Salvador, no Estado da Bahia; avaliar a composição física e química de seu substrato e verificar a possível influência desta na estrutura da vegetação.

Materiais e métodos

A bacia do rio Passa Vaca está localizada entre as coordenadas S 12° 58 e 12° 56, W 38° 24 e 38° 25, possuindo uma área de 3,76 km² ocupada por vestígios do Bioma Mata Atlântica altamente degradado em todo seu alto curso (Almeida, 2009). A área abrangida por este estudo está restrita ao baixo curso da bacia, representada por terras baixas, onde está localizado o manguezal, na orla leste da cidade de Salvador.

Em 1980 este manguezal possuía uma área original de 50 mil m², mas que hoje está reduzida a apenas 14 mil m², devido à implantação de projetos imobiliários, clubes recreativos e escolas (Caetano, 2003). Em adição, as obras de pavimentação e construção de pontes, são responsáveis pela redução da área de captação da bacia, alteração na rede de drenagem, diminuição do volume hídrico e da capacidade de infiltração. Neste foi possível verificar ainda o lançamento de efluentes domésticos através de fontes pontuais e difusas. Além da diminuição considerável do aporte de água salgada ao ecossistema manguezal, contribuindo para a ruptura do já frágil equilíbrio existente (Torres & Almeida, 2008).

O manguezal do estuário do rio Passa Vaca é o último remanescente em área urbana da chamada parte “alta” da cidade do Salvador (BA), com aproximadamente 1,4 ha, cuja floresta é constituída pelas espécies *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.

Segundo a classificação de Lugo & Snedaker (1974) e Cintrón *et al.* (1980), a floresta de mangue estudada é do tipo fisiográfico ribeirinho, a qual margeia rios e canais de maré e exhibe melhor desenvolvimento estrutural quando comparado aos outros tipos fisiográficos (franja e bacia).

Utilizando a classificação climática de Köppen (1928), o clima poder ser considerado do tipo “Af”, tropical úmido, sem estação seca marcante. A temperatura observada ao longo dos estudos realizados por mais de 30 anos, tem uma média anual máxima de 26,3°C e a média anual mínima de 23°C, tendo a amplitude térmica diária durante esse período variado em,

aproximadamente, 4°C. A área possui ainda alto índice pluviométrico, como todo o resto da cidade de Salvador, sendo a precipitação das chuvas por pancadas intermitentes (Bahia, 1974).

Foram demarcados dois transectos nas laterais de cada margem do rio (105 m na direita e 120 m na esquerda), nos quais foram marcados pontos de 60 m² a cada 15 m, totalizando 15 pontos (Fig. 1). A área dos pontos foi determinada em função da densidade da vegetação e uniformidade da floresta (Schaeffer-Novelli & Citrón, 1986), além das dimensões da área de estudo. Vale destacar que a metodologia de transectos tem sido bastante utilizada por diversos autores em áreas de manguezal, tanto para estudos de vegetação como para estudos de sedimentos, sendo possível citar: Viera et al. (2010), Gamero (2001), Berrêdo *et al.* (2008), Semenssato-Jr *et al.* (2007) e Cuzzuol & Campos (2001).

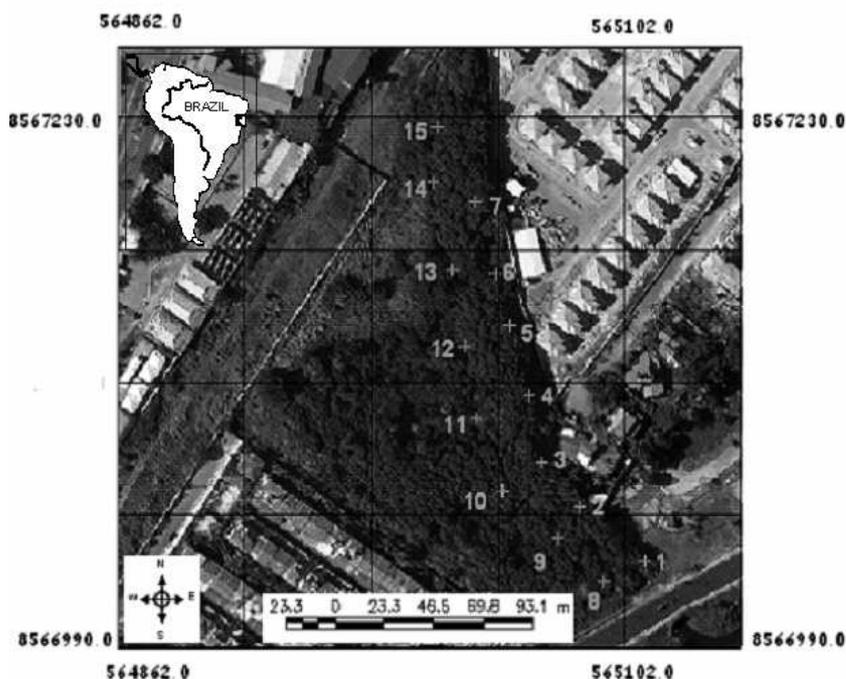


Figura 1: Localização da área de estudo e dos pontos amostrados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA.

Para o estudo químico foram coletados em cada ponto dos transectos 5 porções de amostras de sedimento superficial, que homogeneizadas em campo originaram uma amostra composta por ponto. As amostras foram liofilizadas e fez-se a remoção de fragmentos grosseiros e pedaços de raízes em peneira de aço inox de 2,0 mm. Para os elementos metálicos (Fe, Cu, Zn e Mn) foi realizada uma extração parcial, conforme descrito em Astm (1992), e determinação através do Aparelho de Espectrometria de Absorção Atômica com chama, marca Varian modelo AA 220FS. A granulometria foi determinada em analisador de

partículas com difração a laser modelo Cilas 1064 através do método de Difractometria a Laser; enquanto que o fósforo assimilável foi estudado pelo método de Grasshoff (1983) e Aspilla (1976) com determinação por meio de espectrofotômetro molecular modelo Varian Cary 50 PROBE. Para a determinação das concentrações de nitrogênio (N) e de carbono orgânico total (COT) procedeu-se com a descarbonatação das amostras, segundo a metodologia descrita por Neto (2000) e Costa (2006), seguida de determinação em Analisador Elementar CHNS-O marca Analyser Costech Instruments e modelo ECS 4010.

Paralelamente, foram ainda mensurados em campo: pH (potencial hidrogeniônico), Eh (potencial redox) e temperatura, através do pH-metro portátil e digital, Handylab LF1; salinidade, por meio de refratômetro portátil, marca Hand Refractometer ATAGO modelo S/Mill-E, na água intersticial dos sedimentos; e oxigênio dissolvido (O.D.) nas águas superficiais do rio, utilizando-se o oxímetro portátil e digital, WTW OXI 3151, marca SCHOTT-GERATE.

Para o estudo da fitossociologia a metodologia foi adaptada de Schaeffer-Novelli & Cintrón (1986), uma vez que se optou pela utilização de transectos e não parcelas. Foram considerados todos os indivíduos de espécies obrigatórias de manguezal dentro de cada ponto do transecto, distinguindo-se cada um ao nível de espécie e estado (vivo ou morto). Para a medida da circunferência foram considerados os indivíduos com altura igual ou superior a 1,30 m e com auxílio de uma fita métrica foi aferida a circunferência à altura do peito (CAP – 1,30 m). A altura do bosque foi medida com o auxílio de uma mira, mas em alguns casos essa medida foi apenas estimada devido ao grande porte das árvores da área de estudo. Para as plantas com altura inferior a 1,30 m foram tomados apenas as medidas de altura, com o auxílio da fita métrica. Para a espécie *R. mangle*, a medida da circunferência foi efetuada acima da inserção do último rizóforo, quando necessário (Soares, 1999).

Posteriormente, foram calculados: o diâmetro à altura do peito (DAP – 1,3 m), com base nos dados de circunferência ($DAP = CAP/\pi$); a altura média do bosque; a densidade (D_i) de troncos vivos e mortos; a área basal (AB_i) das espécies, do bosque e por classe diamétrica; a dominância relativa (DOR_i); os índices de valor de importância (IVI) e de cobertura (IVC) (Müeller-Dambois & Elleberg, 1974). Vale destacar que para a medida de densidade adotou-se o sistema métrico, o qual representa o número de indivíduos que por hectare (indivíduos ha^{-1}), mesmo diante das reais dimensões da área de estudo (1,4 ha).

Para o tratamento estatístico foi feita inicialmente uma análise descritiva dos dados através do software Microsoft Excel 2007. Em seguida foram aplicados os testes inferências: teste de normalidade (KS); teste T de Students para uma amostra e o teste de correlação de

Pearson entre os pares de variáveis pelo programa GraphPaD InStat 3.0, e, por fim, análise multivariada com Análise de Componentes Principais (ACP) através do software STATISTICA v.7.0.

Resultados

Avaliação físico-química do substrato

No sedimento da área estudada foi observada uma variação de pH (Fig. 2a) entre condições próximas da neutralidade e levemente ácidas, sendo que solos de manguezal normalmente apresentam pH oscilando entre 4,8 e 8,8 (Pannier, 1994 *apud* Citrón, 1981).

Os valores de Eh obtidos foram positivos indicando uma condição oxidante do sedimento. Nas camadas superficiais, devido ao caráter tiomórfico desses solos e a maior concentração do sistema radicular, é comum o estabelecimento de condições mais oxidantes. Assim, se torna comum nessas camadas a associação de elevados valores de Eh com baixos valores de pH (Vidal-Torrado *et al.*, 2005).

Entretanto, vale salientar que as coletas ocorrem na maré baixa e que no pico desta pH, Eh e O₂ atingem seus valores mínimos (Lacerda, 1994).

A salinidade apresentou valores baixos em todos os pontos de amostragem, com média de 0,54, variando apenas de 0 a 3. O que pode estar associado não somente a situação de baixa-mar, na qual foram feitas as amostragens, mas também à pavimentação em diversas áreas da bacia e à construção de uma ponte na foz do rio, restringindo o aporte de água salgada para o manguezal (Torres & Almeida, 2008).

A temperatura variou de 26,6 a 30,3°C, o que pode estar relacionado à influência das condições climáticas ao horário e local de coleta associado às características inerentes dos pontos amostrados.

De um modo geral, elementos metálicos avaliados apresentam significativa correlação entre si. As concentrações dos elementos metálicos, Fe, Zn, Cu e Mn nos sedimentos do manguezal de Passa Vaca estão apresentados na Fig.2b. Nesta, vale destacar que os pontos 5 e 6, nos quais há um aumento das concentrações de Fe, Zn, Cu e Mn, estão próximos à desembocadura de tubulações de esgotos domésticos e que os pontos 7, 14 e 15, que também apresentaram picos nas concentrações destes elementos, estão localizados na parte superior do estuário (Fig. 1) onde se encontram tubulações metálicas de água com vazamento constante.

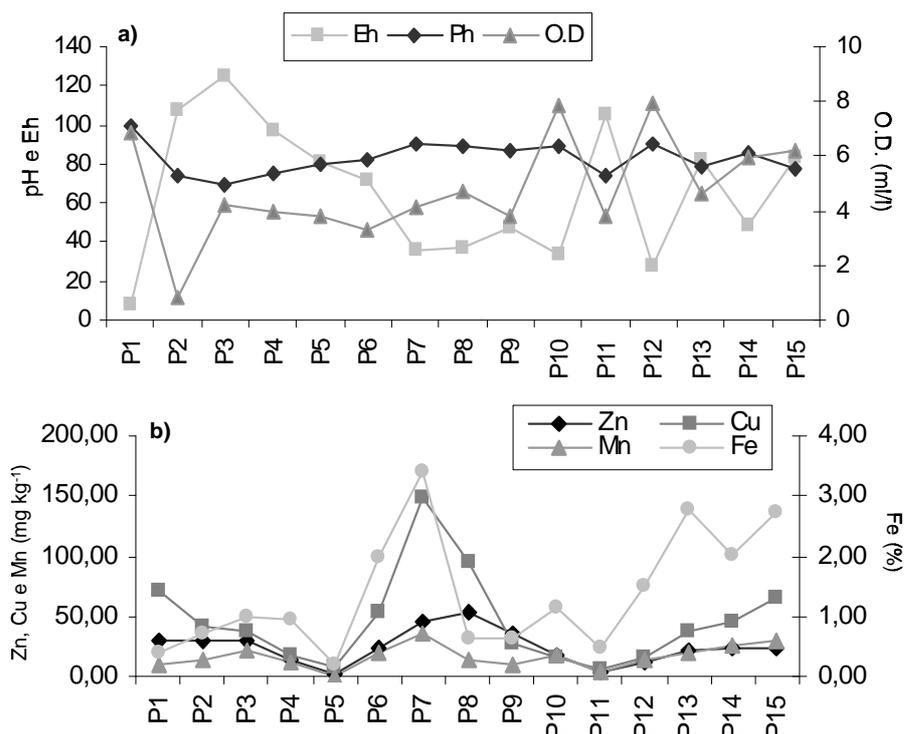


Figura 2: Parâmetros ambientais avaliados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia. a) variação do pH, Eh no sedimento e Oxigênio dissolvido (O.D.) nas águas superficiais; b) distribuição dos teores de Fe, Zn, Cu e Mn em mg kg⁻¹ nos sedimentos.

É necessário enfatizar também que a fração granulométrica média para a área de estudo foi em ordem de dominância composta por: areia (66,8%), seguida de silte (31,3%) e argila (2%). Com exceção para os pontos 6, 7, 8 e 14 que tiveram predominância da fração silte, sendo que justamente nestes pontos foram registradas as maiores concentrações de metais estudados (Fig. 2b). O que é justificado pelo fato de existir uma maior retenção de metais por frações finas do sedimento.

Além disso, o ponto 7 apresentou os maiores picos de concentração de metais e neste foi observado um pH de 6,45. Em concordância, reconhece-se que a maior disponibilidade de nutrientes se dá em valores próximos da neutralidade, ainda que uma leve acidez em torno de 6,5 favoreça a solubilidade dos micronutrientes: Fe, Zn e Cu (Melo, 1983).

Estrutura das espécies vegetais

Neste estudo analisou-se o padrão de distribuição das espécies *L. racemosa* e *R. mangle* ao longo do estuário em direção ao continente, pois os transectos foram demarcados apenas na franja do manguezal (4 m da margem do canal). Os resultados do teste T de Students, para

todos os parâmetros estruturais, mostraram inclusive que não houve variação significativa entre as médias dos pontos amostrais estudados ao longo do estuário.

É importante reforçar que também foi observada a presença de muitos indivíduos de outras espécies não típicas de manguezal, como por exemplo, *Terminalia catappa* L. (amendoeira) e *Musa paradisiaca* L. (bananeira), mas que estas não entraram no estudo.

Como ilustrado pela Fig. 3 a espécie *L. racemosa* apresentou maior densidade em todos os pontos amostrais, ficando evidente também a restrição das árvores da espécie *R. mangle* somente na região medial do estuário, uma vez que estas não ocorrem nem nos pontos 1, 2 e 8, localizados próximos ao mar, nem nos pontos 14 e 15, na região superior do estuário.

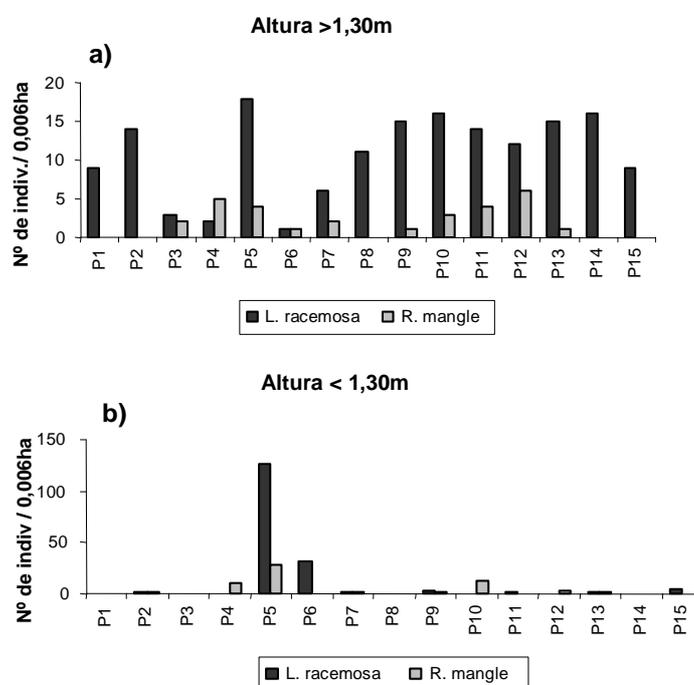


Figura 3: Densidade de indivíduos em 0,006ha (área dos pontos), por espécie em cada ponto amostral dos transectos analisados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. a) Indivíduos com altura superior a 1,30m; b) Indivíduos com altura inferior a 1,30m.

De maneira geral foi observado grande variabilidade estrutural entre os pontos estudados (Tab. 1), sendo importante destacar que para o cálculo destes foram considerados apenas os indivíduos com altura maior ou igual a 1,30 m.

A altura média do bosque oscilou entre 2,9 m (ponto 3) e 17,69 m (ponto 4) e a área basal entre 0,28 m² ha⁻¹ no ponto 3, e 62,74 m² ha⁻¹ no ponto 11 (Tab. 1). A partir da Tabela 1 também é possível observar que as menores densidades foram registradas nos pontos 3 e 6. Em adição, no ponto 5 e 6 foi registrado um grande número de indivíduos com altura inferior a 1,30 m (Fig. 3b).

Tabela 1: Parâmetros estruturais analisados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. DAP: diâmetro à altura do peito; Lg: *Laguncularia racemosa* L. (Gaertn); Rh: *Rhizophora mangle* L.

	Altura média ¹	DAP médio ²	Área Basal ³	Densidade de indivíduos vivos ⁴	Densidade de indivíduos mortos ⁴
P1	6,05±5,52	16,2±15,9	57,62	1500,00	166,67
P2	6,07±6,66	8,3±12,4	41,37	2333,33	833,33
P3	2,9±9,95	1,9±0,9	0,28	833,33	0,00
P4	17,69±8,03	14,1±11	27,06	1166,67	166,67
P5	8,42±7,62	8,3±7,7	33,04	3666,67	166,67
P6	9,5±0,71	21,0±12,6	13,63	333,33	0,00
P7	8,94±7,52	12,9±14,5	36,73	1333,33	0,00
P8	5,31±3,66	6,4±7,0	12,2	1833,33	166,67
P9	5,42±4,47	5,6±8,7	21,61	2666,67	666,67
P10	7,44±5,19	7,9±8,7	31,53	3166,67	166,67
P11	11,08±5,37	13,5±9,5	62,74	3000,00	500,00
P12	9,04±5,05	12,0±8,3	49,06	3000,00	500,00
P13	9,03±6,67	10,2±7,9	38,24	2666,67	166,67
P14	12,61±7,28	14,1±9,2	58,67	2666,67	2000,00
P15	10,34±7,25	12,6±10,8	30,91	1500,00	0,00

Obs.: Altura e DAP médio estão seguidos do desvio padrão (média ± desvio) 1 = m; 2 = cm; 3 = m² ha⁻¹; 4 = troncos ha⁻¹

A espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, além de maior densidade, apresentou maior dominância (81%) e mostrou maior contribuição em área basal em relação a *Rhizophora mangle* L. (Tab. 2). Com isso, a primeira também apresentou maiores Índices de Valor de Importância (IVI), com 162%, e de Cobertura (IVC), com 229%. A importância ecológica de um táxon dentro de uma comunidade florestal é estimada através do IVC e do IVI e seus valores máximos são 200 e 300% respectivamente.

Em todos os pontos houve uma maior contribuição de área basal de troncos com diâmetro $\geq 10,0$ cm (Tab. 2), tendo os maiores valores localizados nos últimos pontos (11-15), os quais se encontram na porção intermediária e superior do estuário. Esse fato pode indicar um grau de desenvolvimento elevado para a floresta estudada. Contraditoriamente, foi possível observar que o ponto 3 apresenta somente indivíduos com classe diamétrica máxima de 5 cm (Tab. 2), o que poderia sugerir a presença de um bosque mais jovem neste ponto, o que sugere a regeneração do mesmo. Entretanto, como já referido, foi possível observar em campo a presença de indivíduos de espécies não típicas de manguezal neste ponto.

Tabela 2: Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) de indivíduos por classe diamétrica (cm) e por espécie no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. ABi: área basal; DORi: dominância relativa; Lg: *Laguncularia racemosa* L. (Gaertn); Rh: *Rhizophora mangle* L.

	Área basal por classe de DAP			Área basal por espécie		DORi (%)	
	<2,5	≥2,5	≥10	Lg	Rh	Lr	Rm
P1	0,04	-	57,58	57,62	-	100	0
P2	0,17	0,49	40,71	41,37	-	100	0
P3	0,07	0,21	-	0,16	0,12	57,14	42,86
P4	-	0,75	26,95	1,83	9,44	6,76	34,89
P5	0,15	1,50	31,39	28,45	4,59	86,11	13,89
P6	-	-	13,63	11,72	1,92	85,99	14,09
P7	0,06	0,60	4,26	32,11	4,62	87,42	12,58
P8	0,15	0,60	11,97	12,20	-	100	0
P9	0,27	0,87	20,46	21,60	0,01	99,95	0,05
P10	0,20	2,32	29,01	28,76	2,77	91,21	8,79
P11	0,01	3,07	59,67	57,33	5,00	91,38	7,97
P12	0,23	0,26	48,57	33,50	15,51	68,28	31,61
P13	0,13	1,22	36,89	28,03	10,22	73,30	26,73
P14	0,06	0,91	57,69	58,67	.	100	0
P15	0,10	0,13	30,68	30,91	.	100	0

Discussões

As concentrações dos metais no manguezal do rio Passa Vaca foram comparadas com outras regiões do Brasil, e com valores orientadores (Tab. 3) no intuito de melhor classificar os impactos causados pela urbanização sofrida pelo mesmo. Assim, foi observado que os teores dos elementos metálicos em Passa Vaca estiveram bem abaixo dos encontrados em Vitória-ES (Jesus et al., 2004) para um manguezal antropizado, que tem como principal fonte de impacto o lançamento de efluentes domésticos. Assim como as concentrações de Mn e Zn também estiveram bem abaixo do observado em Cananéia (SP) por Semenssato-Jr (2007), num manguezal não poluído, e do encontrado em manguezais da Baía de Santos, Estuário de São Vicente e Estuário de Santos, todos em São Paulo, estudados pela Cetesb (2001) para obtenção de valores orientadores para solos. Em contrapartida, as concentrações de Fe foram mais altas do que as encontradas em Cananéia e as concentrações de Cu foram mais altas que todas as encontradas em São Paulo. Além disso, observa-se que a concentração média deste último está próxima da linha de risco para os seres vivos (Noaa, 1999).

Os resultados de N, COT e relação carbono/nitrogênio (C/N) podem ser visualizadas na Fig. 4. Por meio desta foi possível notar que os valores da relação C/N nos sedimentos estudados estiveram maiores que a média (10:1) considerada por Kiehl (1979) citado por

Onofre *et al.* (2007). A elevada proporção da relação C/N se deve aos elevados teores de carbono orgânico em relação aos de nitrogênio.

Tabela 3: Comparação da concentração de metais no rio Passa Vaca, Salvador, BA com valores de referência e com outras regiões estuarinas do Brasil. LQ: Limite de quantificação. Fe em (%), demais elementos (mg kg^{-1}).

	Salvador - rio Passa Vaca	Ilha de Cardoso, Cananea (SP) ¹	Vitória- ES ²	Estuário de Sao Vicente (SP) ³	Estuário de Santos (SP) ³	Baía de Santos (SP) ³	Valores de Referência do NOOA ⁴			CONAMA 420 ⁵
	Min.- Max. Média	Min.- Max. Média	Min.- Max. Média	Min.- Max. Média	Min.- Max. Média	Min.- Max. Média	TEL	ERL	PEL	Vi
Fe	0,19 - 3,41 1,34±1,03	0,15 - 2,26 -	1,6 - 15 4,8	-	-	-	-	-	-	-
Zn	1,75 - 53,8 25,4±14,48 5,89 - 148	5 - 50,4 -	27 - 812 180	7,4 - 65 36,2	15,5 - 957 486,25	5,2 - 42 23,6	124	150	271	1000
Cu	47,82±38,28 <LQ - 36,3	- 11,2 - 320	61 61-3325	11,8 7,9 - 458	52,2 29 - 1561	9,705 7,8 - 435	18,7	34	108	400
Mn	16,6±9,92	-	246	233	795	221,4	-	-	-	-

¹Semessato-Jr *et al.* (2007). ²Jesus *et al.* (2004); ³Cetesb (2001). ⁴Noaa (1999). Padrões de qualidade para sedimentos de mar, National Oceanic and Atmospheric Administration, Estados Unidos, TEL (threshold effects level): limiar de concentração, abaixo do qual não há risco potencial de efeitos tóxicos à biota marinha, ERL (Effects range-low): nível de efeito baixo à comunidade biológica, PEL (Probable effects level): nível provável de efeito adverso à comunidade biológica (frequentemente associado a efeitos biológicos). ⁵Conama 420 (2009), Vi: Valores de investigação para solos em áreas residenciais.

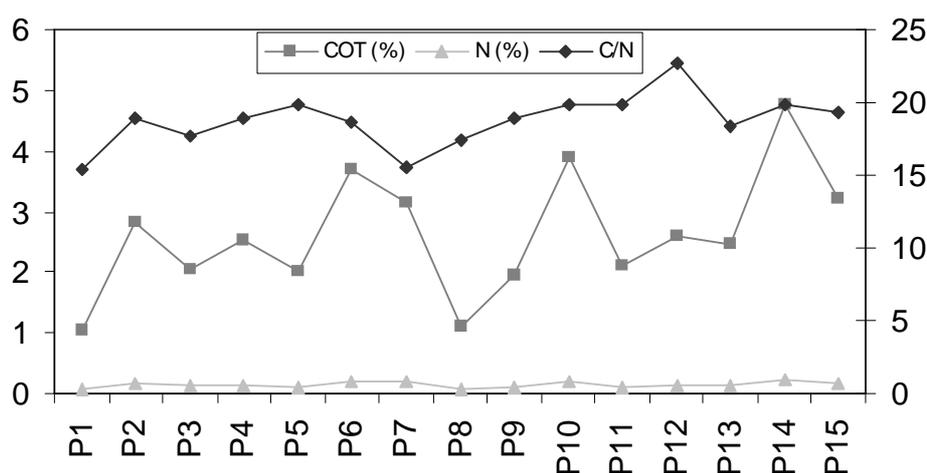


Figura 5: Variação das concentrações de COT, N e relação C/N nos sedimentos coletados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA.

Para a composição estrutural do bosque estudado observou-se que, a grande contribuição em área basal dos indivíduos com DAP > 10 cm. Os valores altos para área basal e altura das árvores revelam bom um estágio de desenvolvimento, caracterizando um bosque

maduro com árvores de grande porte, o que pode ser corroborado comparando-se os principais parâmetros estruturais avaliados com outros manguezais brasileiros (Tab. 4). Bosques no Rio de Janeiro e no Espírito Santo, estudados por Bernini & Rezende (2004) e Silva *et al.* (2005) apresentaram a mesma definição estrutural que o presente estudo. Entretanto, com relação à literatura encontrada para o Estado da Bahia é possível citar: Martins *et al.* (2011), que estudando uma região de manguezal em Ilhéus, encontraram uma vegetação pouco desenvolvida (pequena altura e muitos indivíduos por unidade de área) que caracterizaram como áreas jovens ou muito modificadas; Souza *et al.* (1996) que caracterizaram manguezais na Ilha de Pati, e concluíram que esta Ilha possui vegetação de porte baixo, não mencionando o desenvolvimento estrutural; Paraguassu & Da Silva (2007), que relataram que a baixa densidade em Porto de Sauípe pode ser preocupante, uma vez que se trata de uma manguezal adulto, porém com forte antropização.

Tabela 4: Variação na estrutura da vegetação em alguns manguezais do Brasil .

Local	Altura média (m)	DAP médio (cm)	Área basal (m ² .ha ⁻¹)	Densidade (ind.ha ⁻¹)	Fonte
Espírito Santo	5,40 - 12,00	8,12-29,60	7,21-31,10	450-1.450	Silva <i>et al.</i> (2005)
Rio de Janeiro	6,3 - 9,9	7,44-13,4	14,5-35,3	1920-3400	Bernini e Rezende (2004)
Bahia (Porto de Sauípe)	-	-	0,42	83	Paraguassu & Da Silva (2007)
Bahia (Ilha de Pati)	1,5 -8	-	-	344 - 6856	Souza <i>et al.</i> (1996)
Bahia (Ilhéus)	2,58 - 7,14	-	-	49 - 1356	Martins <i>et al.</i> (2011)
Bahia (Salvador)	2,9 - 17,69	1,91-21,01	0,28-62,2	333-3667	Este estudo

Diante do exposto deve-se compreender que em condições naturais a densidade de um bosque é uma função de sua idade e amadurecimento. Com o amadurecimento do bosque o domínio é feito por poucas árvores de grande porte e volume. A densidade então se reduz com o amadurecimento de um bosque, pois as árvores mais altas recebem luz solar diretamente crescendo de forma mais rápida e dificultando ou mesmo impedindo o desenvolvimento das árvores mais baixas (Schaeffer-Novelli & Citrón, 1986). Entretanto, deve-se considerar que o manguezal do rio Passa Vaca, assim como outros aqui comparados (Tab. 4), se encontra altamente antropizado e que suas dimensões foram drasticamente reduzidas ao longo dos últimos anos, ficando difícil, por exemplo, comparar o seu desenvolvimento ao de áreas com baixa antropização.

É importante ressaltar ainda que, a comparação entre manguezais diferentes se torna uma tarefa difícil, dada a falta de padrão metodológico e critérios técnicos claramente definidos nos estudos. Além disso, as regiões apresentam características ambientais distintas,

pois os manguezais estão sujeitos a diferentes tipos de tensores que influenciam no desenvolvimento estrutural das florestas (Lugo & Snedaker, 1974).

Influência dos parâmetros ambientais na zonação das espécies

Verificado a normalidade dos dados foram investigadas as relações existentes entre as variáveis ambientais e entre estas e os parâmetros estruturais da vegetação de manguezal na área de estudo. Para isto, aplicaram-se diversos testes de correlação entre as variáveis considerando $P < 0,05$. O resultado destes testes pode ser observado pela matriz de correlação expressa na Tab. 5 e pela Análise de Componentes Principais (ACP) na Fig. 5.

Tabela 5: Matriz de correlação entre parâmetros ambientais e estruturais estimados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA

	Temp.	Fe	Zn	Cu	Mn	P	Areia	Silte	Argila	N	C	C/N	Di mortos	Di Lg	Di Rh
Temp.	1,00														
Fe	0,37	1,00													
Zn	-0,12	0,23	1,00												
Cu	0,28	0,54	0,80	1,00											
Mn	0,17	0,88	0,49	0,67	1,00										
P	0,41	0,68	0,54	0,79	0,83	1,00									
Areia	-0,42	-0,41	-0,44	-0,60	-0,48	-0,60	1,00								
Silte	0,42	0,37	0,45	0,60	0,46	0,60	-1,00	1,00							
Argila	0,21	0,66	0,11	0,23	0,50	0,32	-0,49	0,42	1,00						
N	0,22	0,66	-0,02	0,18	0,69	0,63	-0,41	0,38	0,45	1,00					
C	0,10	0,56	-0,18	-0,03	0,56	0,44	-0,31	0,28	0,39	0,97	1,00				
C/N	-0,20	-0,13	-0,65	-0,73	-0,30	-0,50	0,26	-0,27	-0,10	0,13	0,35	1,00			
Di mortos	-0,58	-0,06	-0,07	-0,21	0,01	-0,05	-0,01	0,00	0,16	0,36	0,44	0,35	1,00		
Di Lg	-0,39	-0,24	-0,25	-0,36	-0,37	-0,39	0,33	-0,35	0,03	-0,06	0,03	0,40	0,48	1,00	
Di Rh	0,27	-0,20	-0,64	-0,51	-0,40	-0,25	0,22	-0,20	-0,30	-0,15	-0,05	0,54	-0,19	-0,03	1,00

Por meio destas foi possível confirmar a existência de fortes correlações entre os cátions metálicos avaliados e sugerir que provavelmente a fração argila está controlando as concentrações de Fe e a fração silte as concentrações de Cu (Fig. 5A).

Ficou evidenciada ainda a existência de correlação entre todos os metais avaliados e as concentrações de fósforo. Além dos teores de C e N associados aos elementos Fe e Mn (Tab. 5 e Fig. 5A). Isto pode estar associado com a degradação da matéria orgânica, presente em grandes quantidades em manguezais. Uma vez que, o principal processo de adição que se pode evidenciar nos substratos de manguezais é o de material orgânico, sendo este proveniente da vegetação (folhas, galhos etc.) e da decomposição de raízes mortas (Vidal-Torrado *et al.*, 2005). Além disso, o acúmulo de resíduos sólidos biodegradáveis torna-se um agravante, pois podem influenciar no aumento da matéria orgânica e microorganismos, tornando o ambiente redutor e, com isso, promovendo a solubilização de elementos químicos no meio. Destaca-se ainda que, a matéria orgânica pode estar relacionada com a adsorção,

reações de troca iônica ou com a complexação de metais, e que isto afeta profundamente a geoquímica dos íons metálicos, modificando a sua solubilidade, carga e potencial redox (Bezerra *et al.*, 2009).

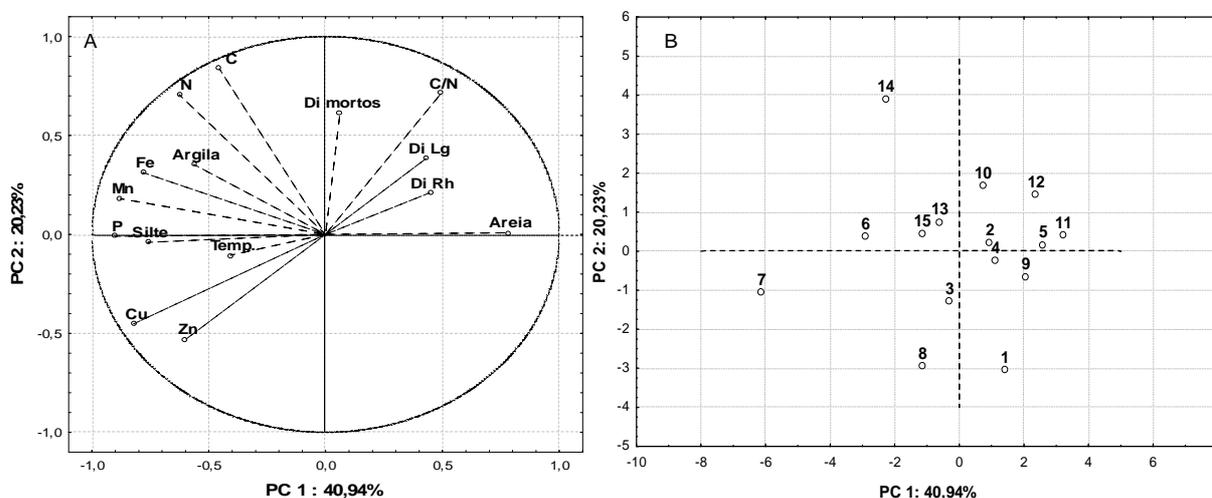


Figura 5: Análise de Componentes Principais (ACP) entre parâmetros ambientais e estruturais estimados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. A: Gráfico de pesos das variáveis. B: Gráfico de escores dos pontos amostrais.

Por meio da disposição dos pontos no gráfico de escores (Fig. 5B) e pela interpretação descritiva dos dados pôde-se observar a existência de um gradiente de contaminação ambiental entre os pontos estudados, no qual os pontos 7 e 8 são os mais impactados e os pontos 5 e 11 os que menos estão sujeitos ao impacto avaliado, sendo os dois primeiros na porção superior e os dois últimos na porção intermediária do estuário.

Confrontadas as variáveis ambientais com a densidade das espécies foi verificada a existência de correlação entre a temperatura e a densidade de indivíduos mortos ($r=-0,58$) e entre a densidade de *R. mangle* e a relação C/N ($r=0,54$), as concentrações de Zn ($r=-0,64$) e as concentrações de Cu ($r=-0,51$) (Tab. 5). Vidal-Torrado *et al.* (2005) descrevem que os solos que sustentam *R. mangle.*, entre outros fatores, normalmente possuem uma relação C/N alta. Entretanto deve-se levar em consideração que a correlação positiva ou negativa entre duas variáveis apenas mostra que essas variáveis crescem no mesmo sentido, não indicando necessariamente que uma variável influencia a outra.

Nos sedimentos de manguezal os substratos reduzidos, matéria orgânica e sulfetos, são responsáveis pela fixação de mais de 60% da concentração de vários metais, principalmente do Zn, Mn e Cu (Lacerda, 1994). Por outro lado quando os sedimentos de manguezal são oxidados, seja por erosão ou pela atividade fotossintética das algas, metais podem ser liberados para a água intersticial (Zonta *et al.*, 1993 *apud* Lacerda, 1994). Assim a condição oxidante verificada nos sedimentos da área de estudo pode estar influenciando no aumento da

biodisponibilidade destes elementos, com destaque para Zn e Cu. Isso pode ocasionar toxidez na vegetação, sobretudo para a espécie *Rhizophora mangle* L.

É possível verificar ainda que o pH do solo é o fator mais importante no controle de disponibilidade do zinco, pois há decréscimo deste micronutriente quando o pH aumenta (Lelis *et al.*, 2010). Embora esta relação direta não tenha sido observada nos sedimentos do rio Passa Vaca por meio dos testes inferenciais.

Alguns trabalhos têm demonstrado que a granulometria e a salinidade do sedimento interferem diretamente na zonation das espécies de manguezal (Souza *et al.*, 1996 e Vidal-Torrado *et al.*, 2005). Embora essa relação direta não tenha sido verificada no estuário do rio Passa Vaca, é interessante destacar que as construções advindas da intensa urbanização na área provocaram assoreamento de grande parte do manguezal, o que parece ter modificado as condições naturais desse ecossistema, conforme pode ser observado com relação ao domínio da fração areia (66,8%) sobre as frações mais finas, no estuário de Passa Vaca. Essa característica granulométrica não é típica em áreas de manguezal, que são normalmente ricas em sedimentos finos. Além disso, a salinidade esteve em concentrações muito baixas ao longo de todo estuário (0-3), o que também revela uma situação não comum pra esse ecossistema.

Outro fato consiste na redução da taxa de aporte de sedimentos de forma parcial entre o estuário e a face da praia, devido à canalização e construção de uma ponte na foz do rio Passa Vaca. O resultado da modificação desse estuário seria a curvatura que se verificou na linha costeira da praia, indicando uma redução da taxa de sedimentos, que teria sido compensada por sedimentos oriundos de trechos adjacentes (Torres & Almeida, 2008). Em adição, em campo foi possível notar em diversas áreas a presença de sedimentos arenosos e até, em alguns casos, areia de construção.

Silva *et al.* (2005) também encontraram situação semelhante na foz do bosque do rio São Mateus, em processo avançado de assoreamento, quando demonstrou que a granulometria do sedimento, provavelmente, não influenciou na estrutura da vegetação. Assim, torna-se válido destacar que o assoreamento pode de fato comprometer a presença dos manguezais, visto que elevadas taxas de sedimentação interferem na reciclagem dos nutrientes e no intercâmbio dos gases, em decorrência do entupimento das lenticelas de rizóforos e pneumatóforos (Odum & Johannes, 1975).

Conclusões

Diante do exposto, é possível inferir que o bosque do estuário do rio Passa Vaca encontra-se em estágio maduro de desenvolvimento, porém com provável alteração das suas características originais causadas principalmente pela urbanização da área. Foi verificada a maior dominância e abundância da espécie *L. racemosa* em detrimento da espécie *R. mangle*.

Não foram verificadas diferenças significativas entre os parâmetros estruturais avaliados ao longo do estuário em direção ao continente, permitindo inferir que a distância da costa não é um fator decisivo para a zonação das espécies na área estudada.

As concentrações dos metais nos sedimentos podem estar sendo controladas pelas condições físicas e químicas do meio.

Embora a granulometria e a salinidade não pareçam influenciar na zonação das espécies é possível sugerir que: as altas relações C/N podem estar favorecendo o aumento da densidade de indivíduos; a temperatura pode estar sendo limitante para a sobrevivência da vegetação; e que a maior concentração de Zn e Cu nos sedimentos pode estar diminuindo a capacidade de colonização da espécie *R. mangle*, confirmando a constatação de que os teores de Cu em alguns pontos estudados ultrapassaram os teores de provável efeito adverso à biota.

Dessa forma, a antropização da bacia do rio Passa Vaca parece estar influenciando na mudança das características naturais deste ecossistema e a espécie *R. mangle* parece ser mais sensível a estes impactos.

Agradecimentos

À Coordenação de Auxílio à Pesquisa de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora.

Referências

- Almeida, R. A. 2009. A degradação ambiental em áreas de preservação permanente da bacia do rio Passa Vaca (Salvador-BA). In Ingá. **Gestão de recursos hídricos**. 1ªed. Salvador, Ingá, série Águas da Bahia 3: 157-166.
- Alongi DM. 2009. **The energetics of mangrove forests**. London: Springer.
- Aspila, K. I.; Agemian, H.; Chau, A. S. Y. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. **Analyst 101**: 187-197.

- Astm. American Society for Testing and Materials. 1992. **Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments 11** (02).
- Bahia. 1974. Governo do Estado da Bahia, Secretaria de Indústria e Comércio, Coordenação de Fomento ao Turismo. **Plano Diretor da Orla Marítima**.
- Berrêdo, J. F.; Costa, M. L.; Progene, M. Do P. S. 2008. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta Amazônica 38** (3): 473-482.
- Bernini, E.; Rezende, C. E. 2004. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica 18**: 491-502.
- Bezerra, P. S. S.; Takiyama, L. R.; Bezerra, C. W B. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazônica 39**(3) 2009: 639 – 648.
- Caetano, C. 2003. **Manguezal do Rio Passa-Vaca: uma proposta de política pública em Salvador-BA**. Salvador, Edição do autor.
- CETESB. 2001. **Sistema estuarino de Santos e São Vicente**. São Paulo.
- Citrón, G.; Lugo, A.E. & Martinez, R. 1980. Structural and functional properties of mangrove forests. Pp. 53-67. In: **Anais Symposium Signaling the Complexion of the Flora of Panama**. Panama 1980. University of Panama.
- Citrón, G. & Schaeffer-Novelli, Y. **Introduction a la ecologia del manglar**. 1981. São Paulo: Instituto oceanográfico da Universidade de São Paulo. 20p.
- Conama. 2009. Conselho Nacional de meio ambiente. **Resolução CONAMA N°420**.
- Costa, A. B. 2006. **Caracterização molecular e isotópica de material orgânico em sedimentos da Baía de Todos os Santos- BA**. Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Brasil. 127pp.
- Cuzzuol, G. R. F. & Campos, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revta brasileira de Botânica 24** (2): 227-234.
- Fry, B.; Bern, A.L.; Ross, M.S. & Meeder, J.F. 2000. $\delta^{15}N$ studies of nitrogen use by the red mangrove, *Rhizophora mangle* L. in South Florida. **Estuarine, Coastal and Shelf Science 50**: 291-296.
- Gamero, R, N, P. 2001. **Mineralogia, físico-química e classificação de solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP)**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

- Grasshoff, K.; Ehrhaedt, M.; Kremling, K. 1983. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, 2ed. Weinhein, Verlag Chemie.
- Jesus, H.C; Costa, E. A; Mendonça, A.S.P.; Zandonade, E. 2004. Distribuição de Metais Pesados em sedimentos do sistema estuário da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova** **27** (3): 378-386.
- Kathiresan K, Bingham BL. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances In Marine Biology** **40**: 81-251.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T.; Cyrll. M. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. **Aquatic Botany**. **89** (2): 201-219.
- Köppen, W.; Geiger, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes.
- Lacerda, L. D. 1994 Biogeoquímica de metais pesados e ecossistemas de manguezal. Tese (Professor titular de Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Brasil, 68pp.
- Leles, E. P.; Fernandes, D. M. Da Silva, J. I. C.; Fumes, L. A. A. 2010. Interação de doses de calcário e zinco nas características morfológicas e nos componentes de produção da mamoneira. **Acta Scientiarum. Agronomy** **32** (3): 501-509.
- Lugo, A.E. & Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematic** **5**: 39-64.
- Martins, P. T. A.; Couto, E. C. G.; Delabie, J. H. C. 2011. Fitossociologia e estrutura vegetal do Manguezal do rio Cururupe (Ilhéus, Bahia, Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**.
- Melo, F. de A. F. 1983. **Fertilidade do solo**. 3.ed. São Paulo, Nobel.
- Müller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, Willey and Sons.
- Neto, A. 2000. **Estudo geoquímico em sedimentos do trecho Oceano Atlântico de Salvador (BA) ao Cabo de São Tomé (RJ)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Brasil.
- NOAA.1999. Screening Quick Reference Tables. **National Oceanic And Atmospheric Administration**. USA, Seattle.
- Odum, W.E. e Johannes, R.E. 1975. The response of mangrove to man-induced environmental stress. Pp. 52-62. In: Wood, E.J.F. and Johannes, R.E. (eds.). **Tropical Marine Pollution**. Amsterdam, Elsevier Oceanography Series.
- Onofre, C. R. de E.; Celino J. J.; Nano, R. M. W. Queiroz, A. F. de S. 2007. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da

- Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista de biologia e ciências da terra** 7 (2): 65-82.
- Paraguaçu, L. A. A. & Da Silva, M. N. 2007. Caracterização fitossociológica do manguezal de Porto de Sauípe, Entre Rios, Bahia. **Diálogos & Ciência** V (12): 1-12.
- Ramos, S. 2002. **Manguezais da Bahia**: breves considerações. Ilhéus, Ed. Editus.
- Santos, L.L. 2009. **Estrutura e serapilheira em um manguezal de Ilhéus, Bahia, Brasil**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil.
- Schaeffer-Novelli, Y. e Citrón, M. G. 1986. **Guia para estudos em áreas de manguezal, estrutura, função e flora**. São Paulo, Caribbean Ecological Research.
- Schaeffer-Novelli, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. 1995. São Paulo, Caribbean Ecological Research.
- Semenssato-Jr, D. L.; Araújo, G, C, L; Funo, R, H, F; Sata-Cruz, J; Dias-Brito, D. 2007. Metais e Não-Metais em Sedimentos de um Manguezal Não-Poluído, Ilha do Cardoso, Cananéia (SP). **Revista Pesquisas em Geociências** 34 (2): 25-31.
- Silva, M. A. B.; Bernini, E.; Carmo, T. M. S. 2005. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 19: 465-471.
- Soares, M.L.G. 1999. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia** 59(3): 503-515.
- Souza, H. S.; Guedes, M. L. S.; De Oliveira, S. S; Santos, E. S. 1996. Alguns aspectos fitossociológicos na Ilha de Pati- Bahia- Brasil. **Sitientibus** 15: 151-156
- Tomlinson, P.B. 1986. **The botany of mangroves**. Cambridge, University Press.
- Torres, A.P.& Almeida, R.A. 2008. Esboço sócio-ambiental da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca, SSA-BA. **Geotextos** 4: 37-51.
- Vidal-Torrado, P.; Otero, X., L.; Ferreira, T. O.; Souza Júnior, V. S. de ; Macias, F.;García-González, M. T. 2005. Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos. In: **Anais do XXX Congresso brasileiro de ciência do solo**. Recife 2005.
- Vieira, B. P; Dias, D; Hanazaki, N. 2010. Homogeneidade de Encalhe de Resíduos Sólidos em um Manguezal da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, em impressão.

6.2 FONTE, DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E A BIOGEOQUÍMICA DE ECOSSISTEMA MANGUEZAL EM ZONA ESTUARINA TROPICAL DA CIDADE DE SALVADOR, BAHIA, BRASIL.

Autores:

Consuelo Lima Navarro de Andrade

Karina Santos Garcia

Joil José Celino

Ronaldo Montenegro Barbosa

Narayana Flora Costa Escobar

Submetido a Revista Brasileira de Geociências em julho de 2011.

FONTE, DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E A BIOGEOQUÍMICA DE ECOSSISTEMA MANGUEZAL EM ZONA ESTUARINA TROPICAL DA CIDADE DE SALVADOR, BAHIA, BRASIL.

Consuelo Lima Navarro de Andrade- Programa de Pós-graduação (Mestrado) em Geoquímica: petróleo e meio ambiente (POSPETRO), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. consul_navarro@hotmail.com

Karina Santos Garcia – Núcleo de Estudos Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. garciaks4@yahoo.com.br

Joil José Celino- Programa de Pós-graduação em Geoquímica: petróleo e meio ambiente (POSPETRO), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. joil@ufba.br

Ronaldo Montenegro Barbosa - Programa de Pós-graduação em Geoquímica: petróleo e meio ambiente (POSPETRO), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. ronaldo@ufba.br

Narayana Flora Costa Escobar- Núcleo de Estudos Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. nara_flora@hotmail.com

RESUMO O comportamento biogeoquímico de nutrientes e os traçadores naturais da matéria orgânica foram estudados no estuário do rio Passa Vaca, situado em área urbana de Salvador, Bahia, Brasil. Foram estabelecidos dois transectos nas margens do rio, nos quais foram marcados 15 pontos. Em cada ponto foram identificadas duas árvores das espécies presentes (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.) e coletadas 30 folhas adultas em cada e porções de sedimento superficial. Nos sedimentos a ordem dos nutrientes foi: Fe > Al > Ca > P > Na > Cu > K > Zn > Mn, para a espécie *L. racemosa* observou-se: Na > Ca > K > Fe > Mn > Al > Zn > Cu; e para *R. mangle*: Na > Ca > K > Mn > Fe > Al > Zn > Cu. Também foram observadas correlações sedimento/ planta na concentração dos nutrientes avaliados. Dentre as mais relevantes é possível citar: Zn e Cu; Al e Na; Na e Zn e K, para *L. racemosa* e entre os cátions: Cu, Zn, K e Ca; Mn e Ca; Al e Cu; e o K para *R. mangle*. Entretanto, os fatores de concentração para os metais pesados estiveram abaixo de 1,00 indicando baixa absorção destes pelas plantas. O Carbono Orgânico Total (COT) variou de 1,03 a 4,77% e foi considerado em proporções significativas. A razão molar C/N e isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{C}$ indicaram que um percentual considerável da matéria orgânica é de fonte terrestre, sendo proveniente da vegetação do próprio manguezal.

Palavras-chave: Manguezal, biogeoquímica, matéria orgânica.

ABSTRACT SOURCE, DISTRIBUTION OF ORGANIC MATTER AND BIOGEOCHEMISTRY OF MANGROVE ECOSYSTEMS IN TROPICAL ESTUARINE ZONE OF THE CITY OF SALVADOR, BAHIA, BRAZIL. The biogeochemical behavior of nutrients and natural tracers of organic matter were studied in the estuary of the River Pass Cow, located in urban area of Salvador, Bahia, Brazil. Two transects were established along the river, in which were marked 15 points. At each point identified two trees of species present (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn and *Rhizophora mangle* L.) and collected in every 30 adult leaves and portions of the surface sediments. Sediment nutrients was the order of: Fe > Al > Ca > P > Na > Cu > K > Zn > Mn, for the specie *L. racemosa* was observed: Na > Ca > K > Fe > Mn > Al > Zn > Cu, and *R. mangle*: Na > Ca > K > Mn > Fe > Al > Zn > Cu. Correlations were also observed sediment / plant in the concentration of nutrients evaluated. Among the most relevantes is possible include: Zn and Cu, Al and Na, Zn and Na and K to *L. racemosa* and between the cations Cu, Zn, K and Ca, Mn and Ca, Al and Cu, and K to *R. mangle*. However, the concentration factors for heavy metals were below 1.00 indicating low absorption of these plants. The Total Organic Carbon (TOC) ranged from 1.03 to 4.77% and was found in significant proportions. The molar ratio C / N and isotopic $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{C}$ indicated that a significant percentage of organic matter is land-based sources, and from the mangrove vegetation itself.

Keywords: Mangrove, biogeochemistry, organic matter.

1. INTRODUÇÃO

Manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ecossistemas terrestres e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés. É constituído de espécies vegetais adaptadas à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (Schaeffer- Novelli, 1995); possui uma fauna numerosa e diversa; e se constitui como uma importante fontes de renda para muitas populações ribeirinhas. Pelos seus aspectos biogeoquímicos é considerado como importante transformador de matéria orgânica em nutrientes e devido às inundações periódicas pelas marés, em muitas florestas de manguezal a troca deste material com águas costeiras pode ser muito eficiente (Kathiresan & Bingham 2001, Kristensen 2008, Alongi 2009).

Tem sido proposto que o ecossistema de manguezal desempenha um importante papel no balanço de carbono dos ecossistemas costeiros, exportando quantidade substancial de carbono terrestre (11%) para o oceano e 15% do total de carbono acumulado em sedimentos marinhos modernos (Jennerjahn & Ittekkot, 2002). Da mesma forma, Dittmar *et al.* (2006) têm quantificados que o manguezal contribui aproximadamente com 10% de carbono dissolvido terrestre orgânico (DOC) exportado para o oceano mundial. Apesar de sua pequena área em relação a outros habitats, a exportação desta grande quantidade de matéria orgânica tem um efeito reconhecível nas teias alimentares das águas costeiras (Dittmar & Lara 2001, Bouillon *et al.* 2008).

Traçadores químicos, como os isótopos estáveis, têm sido aplicados para identificar a origem e o destino da matéria orgânica nos ambientes costeiros (Tremblay *et al.* 2007, LOH *et al.* 2008). Isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) estão sendo usados não apenas para inferir as fontes de MO e ciclagem, mas também para caracterizar a estrutura da cadeia alimentar nos ecossistemas costeiros (Fredriksen 2003, Cole *et al.* 2004, McCallister *et al.* 2004). No entanto, as contribuições relativas de múltiplas fontes para MO e estrutura trófica pode ser difícil de determinar por causa da sobreposição nas assinaturas isotópicas de diferentes componentes (Cloern *et al.*, 2002). Portanto, o uso simultâneo pode ajudar a superar algumas destas limitações (Bauer *et al.*, 2002). Além disso, nos últimos tempos, os níveis de $\delta^{15}\text{N}$ nos ecossistemas costeiros têm se elevado a $> 8\text{‰}$, principalmente por causa das descargas de altas concentrações de efluentes de terras agrícolas, lagoas de aquicultura e os assentamentos doméstico (Savage 2005, Mutchler *et al.* 2007, Lepoint *et al.* 2008). O acúmulo de fração enriquecida $\delta^{15}\text{N}$ em sedimentos está causando um enriquecimento gradual de $\delta^{15}\text{N}$ dentro das cadeias alimentares (Kwak & Zedler 1997, Cole *et al.* 2004). Resultados assim, combinados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ podem fornecer informações sobre as fontes da MO e estrutura trófica.

É importante destacar que áreas de manguezais têm sofrido progressivas perturbações nas últimas décadas, principalmente por conta das atividades antrópicas, como urbanismo, industrialização e despejo de efluentes, onde os metais apresentam grande importância pelas interações ecotoxicológicas que podem produzir (Siqueira *et al.* 2004, Lacerda 2007).

No entanto, a comunidade vegetal tem importante papel na circulação dos elementos químicos onde diversos estudos têm apontado à vegetação de manguezal como eficiente barreira biogeoquímica à exportação de contaminantes para as áreas costeiras (Machado *et al.*, 2002). Uma vez que todas as plantas requerem uma rede básica de nutrientes inorgânicos, sendo vários elementos químicos utilizados por diferentes plantas para fins essencialmente similares (Fitter & Hay, 1987), embora as espécies possam diferir amplamente em sua concentração absoluta e nas proporções relativas dos diferentes elementos (Waisel 1972, Larcher 2000).

Dentro deste contexto, os objetivos do presente estudo são: caracterizar a matéria orgânica (MO) do estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil; e definir os processos que afetam a dinâmica desta no manguezal, que podem fornecer informações sobre as restrições e os mecanismos envolvidos no destino dos metais e a preservação da MO nos sedimentos costeiros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Passa Vaca está localizada entre as coordenadas S 12° 58 e 12° 56, W 38° 24 e 38° 25, possuindo uma área de 3,76 km² ocupada por vestígios do Bioma Mata Atlântica, altamente degradado em todo seu alto curso (Almeida, 2009). A área abrangida por este estudo está restrita ao baixo curso da bacia, representada por terras baixas, onde está localizado o manguezal (Fig.1), na orla leste da cidade de Salvador.

Em 1980 este manguezal possuía uma área original de 50 mil m² que hoje está reduzida a apenas 14 mil m², devido à implantação de projetos imobiliários, clubes recreativos e escolas, segundo Caetano (2003) e Torres & Almeida (2008). O manguezal do estuário do rio Passa Vaca é o último remanescente em área urbana da chamada parte “alta” da cidade do Salvador (BA), sendo a floresta constituída principalmente de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.

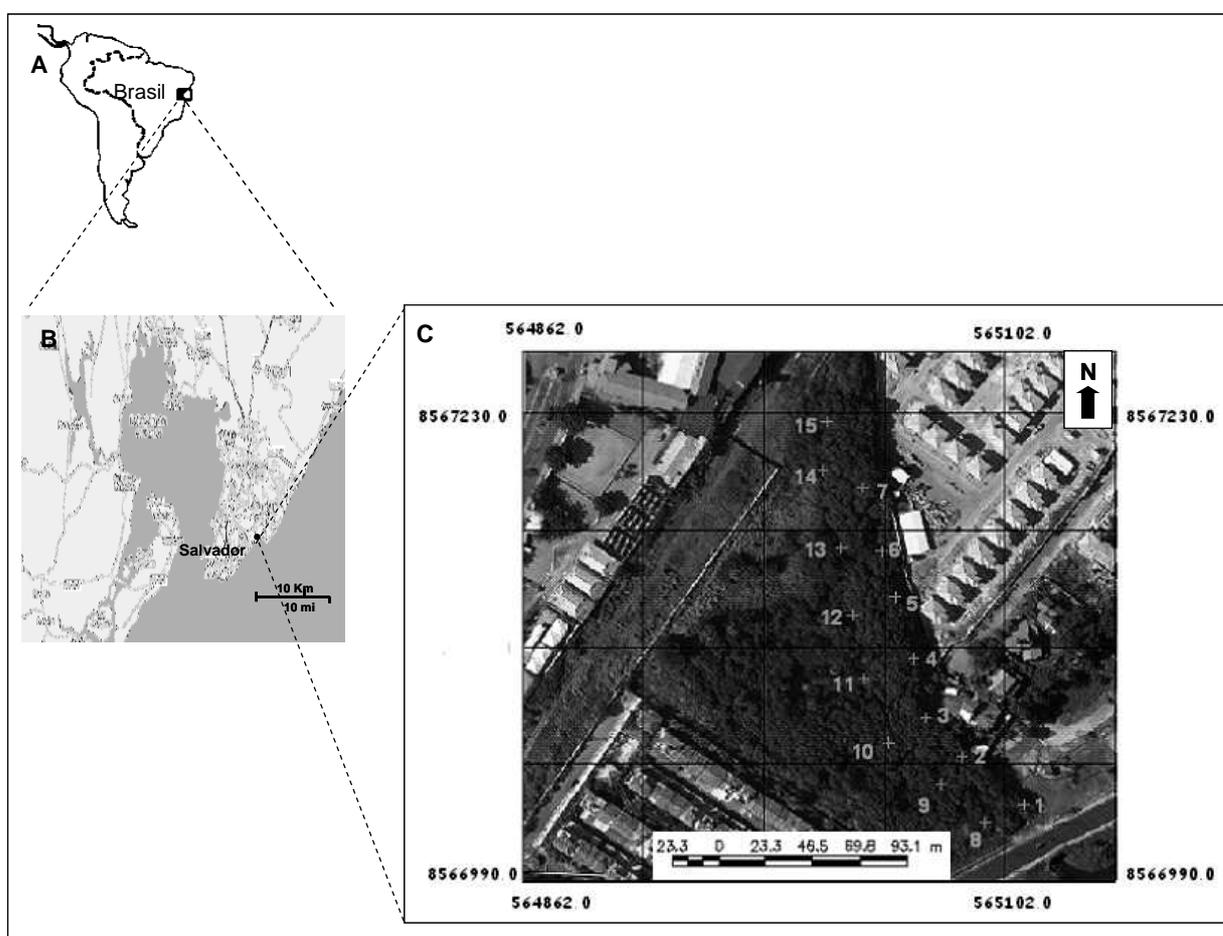


Figura 1: Mapa de situação e localização da área de estudo e dos pontos amostrados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil. A- Situação da América Latina e Brasil. B-Localização no município de Salvador. C- Localização dos pontos de amostragem.

Foram demarcados dois transectos (210 m e 240 m) nas laterais de cada margem do rio, na franja do manguezal, nos quais foram marcados pontos de 60 m² a cada 15 m, totalizando 15 pontos (Fig. 1). A área dos pontos foi determinada em função da densidade da vegetação e uniformidade da floresta (Schaeffer-Novelli e Citrón, 1986), além das dimensões da área de estudo. Vale destacar que a metodologia de transectos tem sido bastante utilizada por diversos autores em áreas de manguezal, tanto para estudos de vegetação como para estudos de sedimentos, sendo possível citar: Cuzzuol & Campos (2001); Semenssato-Jr *et al.* (2007); Berrêdo *et al.* (2008) e Viera *et al.* (2011).

Em cada ponto foram identificadas aleatoriamente duas árvores para coleta de 30 folhas adultas, a partir do 3º nó ou forquilha, contando a partir do meristema apical do ramo; sendo que foi priorizada a coleta de indivíduos de espécies distintas. Porém na ausência de uma foram coletadas duplicatas da espécie presente, tendo sido ambas consideradas para a análise. Nesses mesmos pontos foram coletadas em cada ponto 5 porções de amostras de sedimento superficial, próximo às árvores amostradas, que homogeneizadas em campo originaram uma amostra composta por ponto do transecto.

Paralelamente, foram ainda mensurados em campo: pH (potencial hidrogeniônico), Eh (potencial redox) e temperatura, através do pH-metro portátil e digital, Handylab LF1; salinidade, por meio de refratômetro portátil, marca Hand Refractometer ATAGO modelo S/Mill-E, na água intersticial dos sedimentos; e oxigênio dissolvido (O.D.) utilizando-se o oxímetro portátil e digital, WTW OXI 3151, marca SCHOTT-GERATE, nas águas superficiais do rio.

Todas as amostras foram liofilizadas e em seguida, para os sedimentos, fez-se à remoção de fragmentos grosseiros e pedaços de raízes em peneira de aço inox de 2,0 mm. As amostras de folha foram trituradas em liquidificador por 3 minutos, para obtenção de partículas menores e homogêneas, de acordo com a metodologia adaptada de Rodrigues (2003).

Para os elementos metálicos (Zn, Cu, Fe, Mn, Na, K, Ca, Al) foram realizadas extrações parciais, com 0,5g de amostra utilizando ácido nítrico (1:1) em forno microondas conforme descrito em Astm (1992), e determinação através do Aparelho de Espectrometria de Absorção Atômica com chama, marca Varian modelo AA 220FS.

Para a determinação da granulometria do sedimento as amostras passaram por um pré-tratamento com peróxido de hidrogênio para degradar a matéria orgânica e, em seguida, adicionou-se hexametáfosfato de sódio, durante 24h, sob agitação, para evitar floculação. A proporção das partículas foi determinada em Analisador de Partículas com Difração a Laser modelo Cilas 1064, através do método de Difractometria a Laser.

Para determinar os teores de fósforo assimilável seguiram-se o método de Grasshoff (1983) e Aspilla *et al.* (1976), sendo a extração realizada com ácido clorídrico e ácido sulfúrico e determinação utilizando o reagente combinado (ácido sulfúrico + antimônio tartarato de potássio + molibdato de amônio de ácido ascórbico) e leitura em Espectrofotometro Molecular, modelo Varian Cary 50 PROBE, no comprimento de onda 815 nm.

A determinação das concentrações de nitrogênio (N), carbono orgânico total (COT) e análise das razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) iniciou-se com a retirada dos carbonatos presentes, utilizando-se cerca de 500 mg de cada amostra e tratando-as com 10 mL de ácido clorídrico (HCl) 1 molar. Após 24 horas a amostra foi centrifugada para extrair o líquido sobrenadante, lavada cuidadosamente e centrifugada por 3 vezes com água deionizada, seca em temperatura de 50 °C e então pesada, para determinar a quantidade de carbonatos presentes na amostra por diferença de massa ($\text{massa}_{\text{carbonato}} = \text{massa}_{\text{amostra antes do HCl}} - \text{massa}_{\text{amostra depois do HCl}}$) (Neto, 2000). De 15 a 20 mg de cada amostra de sedimento foi pesada em uma cápsula de estanho, que depois de fechada seguiu-se com a determinação em Analisador elementar CHNS-O marca Analyser Costech Instruments, modelo ECS 4010 segundo a metodologia descrita por Costa (2006).

A concentração foliar dos cátions metálicos avaliados foi dividida pela concentração do sedimento para determinar o fator de concentração (FC), segundo Salisbury & Ross (1992).

Para o tratamento estatístico foi feita inicialmente uma análise descritiva dos dados e construção de gráficos e tabelas através do software Microsoft Excel 2007. Em seguida foram aplicados os testes inferências, com 5% de probabilidade: teste de normalidade (KS) e o teste de correlação de Pearson entre os pares de variáveis pelo programa GraphPaD InStAt 3.0. Foram ainda feitas análises multivariadas com Análise de Componentes Principais (ACP), através do software STATISTICA v.7.0, entre os nutrientes determinados nos sedimentos e nas folhas e os parâmetros não conservativos que apresentaram correlação com esses nutrientes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biogeoquímica de nutrientes

As médias dos parâmetros não conservativos estimados no estuário do rio Passa Vaca estão ilustrados na Tab. 1.

Tabela 1: Médias dos parâmetros pH, Eh, temperatura e salinidade estimados nas águas intersticiais dos sedimentos e oxigênio dissolvido (O.D.) nas águas superficiais amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. \bar{X} = Média e S = Desvio Padrão.

	pH	Eh	Temperatura	O.D.	Salinidade
$\bar{X} \pm S$	5,9±0,6	66,1±34,6	28,2±1,1	4,8±1,9	0,6±0,8

Com relação às frações granulométricas (Fig. 2) observou-se que a fração areia teve maior dominância em relação às frações silte e a argila, com exceção dos pontos 6, 7, 8 e 14 nos quais predominaram a fração silte.

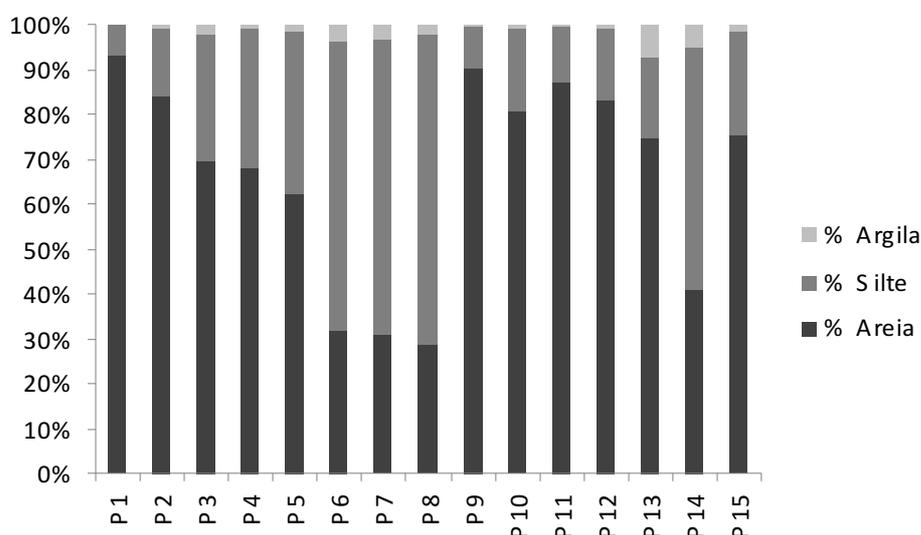


Figura 2: Proporção das frações granulométricas por ponto de amostragem mensuradas nos sedimentos superficiais do estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil.

As concentrações médias dos nutrientes avaliados nas folhas e no sedimento no estuário do rio Passa Vaca estão apresentados na Tab. 2, sendo possível observar que a concentração geral dos elementos no sedimento seguiu a ordem: Fe > Al > Ca > P > Na > Cu > K > Zn > Mn. Com isso, vale destacar que as concentrações de Fe foram mais altas do que as encontradas em Cananéia (SP) por Semensato-Jr (2007), num manguezal não poluído, com teores mínimos de 0,15 e máximos de 2,26%. Da mesma forma, as concentrações de Cu no presente estudo foram mais altas que as encontradas em manguezais da Baía de Santos (9,71 mg kg⁻¹), Estuário de São Vicente (11,8 mg kg⁻¹) e Estuário de Santos (52,2 mg kg⁻¹), todos em São Paulo, estudados pela Cetesb (2001) para obtenção de valores orientadores para sedimentos. Além disso, observou-se que a concentração média deste último está entre os níveis de efeito baixo (34 mg kg⁻¹) e o nível provável de efeito adverso à comunidade biológica (108 mg kg⁻¹), determinados pelo Noaa (1999).

Tabela 2: Concentrações de nutrientes avaliados (média \pm desvio padrão), nas folhas e nos sedimentos, e os Fatores de Concentração (FC) das espécies analisadas do no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA. Lg = *L. racemosa* e Rh = *R. mangle*.

	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	Sedimento	FC Lg	FC Rh
Cu ²	13,8 \pm 10,9	5,7 \pm 4,1	45,6 \pm 37,8	0,30	0,12
Zn ²	22,4 \pm 5,8	9,0 \pm 0,9	24,6 \pm 14,1	0,91	0,36
Mn ²	80,7 \pm 32,8	232,1 \pm 81,5	16,7 \pm 9,6	4,84	13,91
Fe ¹	0,9 \pm 0,6	0,2 \pm 0,04	13,7 \pm 10,0	0,07	0,01
Al ²	68,1 \pm 45,2	35,4 \pm 34,5	4725,0 \pm 3786,4	0,01	0,01
Na ¹	10,6 \pm 2,6	8,4 \pm 3,2	0,09 \pm 0,04	113,38	89,65
K ¹	2,9 \pm 0,8	1,3 \pm 0,4	0,04 \pm 0,01	78,94	35,34
Ca ¹	3,8 \pm 2,1	3,8 \pm 1,3	3,5 \pm 6,6	1,07	1,08
P ²	—	—	207,0 \pm 185,1	—	—

1= g kg⁻¹; 2= mg kg⁻¹

Nas folhas as concentrações dos macros e micronutrientes avaliados seguiram a mesma ordem de concentração nas duas espécies estudadas, com exceção para a concentração de Fe, que foi maior que a de Mn para *L. racemosa* em detrimento de *R. mangle*, demonstrando, assim, as diferenças interespecíficas quanto a absorção destes nutrientes. Com isso, a ordem de concentração dos elementos avaliados nas folhas foi de Na > Ca > K > Fe > Mn > Al > Zn > Cu, para *L. racemosa*, e: Na > Ca > K > Mn > Fe > Al > Zn > Cu para *R. mangle* (Tab. 2).

Essa diferença interespecífica na absorção de nutrientes deve-se aos diferentes mecanismos de controle de entrada de sal apresentados pelas espécies. Uma vez que, o mecanismo de controle de entrada de sal pode afetar a absorção de metais pesados (Lacerda *et al.*, 1985). Assim, *Rhizophora* por ser um gênero sal-excludente evitaria a entrada de elementos químicos como Fe, Zn e Cu, causando menor concentração destes elementos no tecido foliar, em detrimento do gênero *Laguncularia* que é considerado sal-includente e, portanto, não possui essa propriedade (Lacerda *et al.* 1985, Bernini *et al.* 2006).

A incorporação preferencial de Mn por *R. mangle* e de Fe por *L. racemosa*, também foi verificada em outros manguezais (Lamberti 1969, Lacerda *et al.* 1985, Cuzzuol & Campos 2001; Bernini *et al.*, 2006).

É importante destacar também que a baixa concentração dos metais pesados encontrados nas folhas deve-se ao fato de que as espécies de manguezal são capazes de oxidar suas rizosferas. Isto faz com que a solubilidade de metais como Fe e Mn diminua, enquanto os sulfetos, que são normalmente precipitados nas condições do manguezal, são rapidamente oxidados a sulfato, diminuindo significativamente a toxicidade dessas substâncias e resultando na formação das chamadas “placas-de-ferro” ao redor das raízes (Lacerda *et al.* 1993, Mendelssohn *et al.* 1995, Machado *et al.* 2002, Pi *et al.* 2011). Em contrapartida, o elemento Mn foi encontrado em maiores concentrações nas folhas, em detrimento dos sedimentos, para as duas espécies, pois este não forma sulfetos estáveis, sendo solúvel nas condições anóxicas do sedimento do manguezal, e, portanto mais biodisponível (Lacerda *et al.*, 1988).

A capacidade de acúmulo de nutrientes variou de acordo com a espécie (Tab. 2). Entretanto, foi comum para as duas espécies um Fator de Concentração abaixo de 1,0 para o Al e para os metais pesados: Cu, Zn, Fe. Isto indica que a concentração destes elementos no sedimento foi maior do que nas plantas.

Os resultados para os fatores de concentração nas espécies estudadas estão em consonância com os encontrados por Lacerda *et al.* (1986). Estes autores observaram que ao longo da costa sudeste brasileira, os fatores de concentração para metais pesados em

espécies de manguezal foram inferiores a 1,0. Além disso, foram verificados que os fatores de concentração apresentados por *L. racemosa* foram maiores que os encontrados para *R. mangle*, com exceção para o elemento Mn, devido a sua maior concentração nesta última, assim como ocorreu no estuário do rio São Mateus, estudado por Bernini *et al.* (2006).

Verificado a normalidade dos dados foram testadas as correlações ($P < 0,05$) entre os nutrientes dos sedimentos e das folhas e os parâmetros não conservativos estimados, obtendo-se alguns resultados positivos, porém com as devidas diferenças interespecíficas. As correlações para a espécie *L. racemosa* foram: Zn com o Cu ($r = 0,62$); Al com Na ($r = 0,56$); Na com Zn ($r = 0,54$) e com K ($r = 0,71$). Além disso, verificou-se que a fração argila nos sedimentos têm influência direta na absorção e conseqüentemente na concentração de Cu nas folhas ($r = 0,48$) (Fig. 3).

Vale ressaltar que, pela disposição do gráfico de escores da ACP (Fig. 3b) é possível notar que as duplicatas de campo (n.1 e n.2, sendo n o número do ponto de coleta) coletadas para a espécie *L. racemosa* apresentaram, no geral, comportamento bastante semelhante.

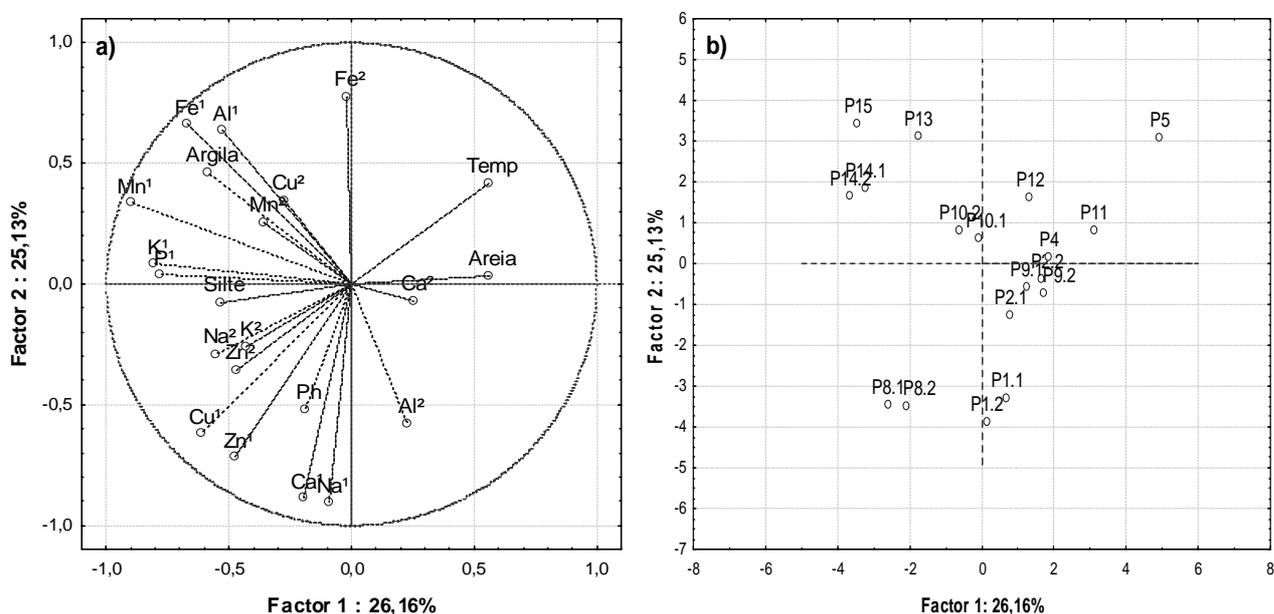


Figura 3: Análise de Componentes Principais (ACP) entre os nutrientes e parâmetros não conservativos avaliados nos sedimentos (1) e nas folhas de *L. racemosa* (2) amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil. A- Gráfico de pesos entre as concentrações no sedimento e nas folhas. B- Gráfico de escores entre os pontos amostrados em que há presença de *L. racemosa*. Temp = Temperatura.

Para *R. mangle* encontrou-se as seguintes correlações: Cu com Zn ($r = 0,60$), com K ($r = 0,54$) e com Ca ($r = 0,77$); Mn com Ca ($r = 0,84$); e Al com Cu ($r = 0,50$); além de correlação negativa ($r = -0,65$) entre o K nas folhas com o K no sedimento. Em adição foi verificado que alguns parâmetros não conservativos estimados no sedimento estão exercendo controle na absorção de nutrientes pelas plantas, sendo possível citar: o pH controlando os teores de Na nas folhas ($r = 0,83$); a temperatura os teores de Al ($r = 0,65$); a salinidade o K ($r = 0,80$); e a fração granulométrica silte, controlando a absorção de Fe ($r = 0,81$), Al ($r = 0,56$) e Cu ($r = 0,50$) (Fig. 4).

Assim, fica demonstrado que para o presente estudo as concentrações dos elementos químicos e as variáveis ambientais do substrato controlam a absorção de nutrientes pelas plantas. O que não foi demonstrado em outros estudos similares (Lacerda *et al.* 1986, Bernini *et al.* 2006).

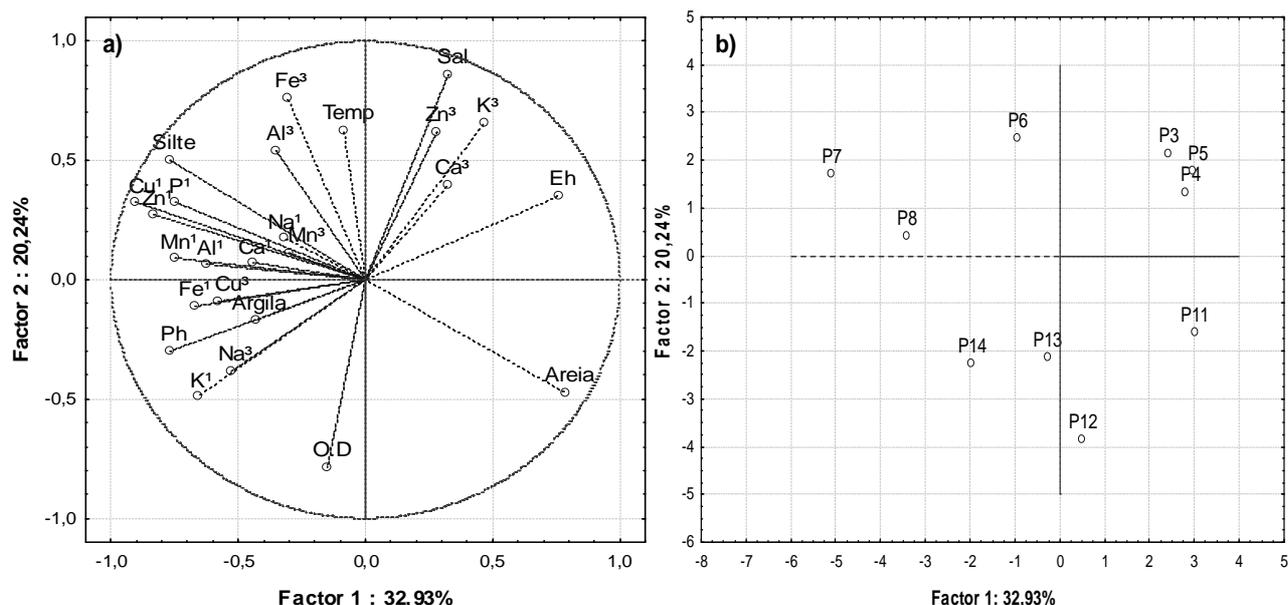


Figura 4: Análise de Componentes Principais (ACP) entre os nutrientes e parâmetros não conservativos avaliados nos sedimentos (¹) e nas folhas de *R. mangle* (³) amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil. A- Gráfico de pesos entre as concentrações no sedimento e nas folhas. B- Gráfico de escores entre os pontos amostrados em que há presença de *R. mangle*. Sal = Salinidade; Temp = Temperatura.

As correlações observadas nas duas espécies entre o Zn e o Cu estão relacionadas ao processo de absorção ativa destes elementos no solo, no qual há competição pelo mesmo sítio carregador entre estes (Malavolta *et al.*, 1997).

Em espécies de manguezal, a concentração do K pode variar de 5 – 60 g Kg⁻¹ (Mello *et al.*, 1985), sendo possível constatar, assim, que os teores encontrados para este elemento (Tab. 2) estão abaixo do limite normal de concentração e com isso este se encontra correlacionado com os teores de Na nas folhas de *L. racemosa*, uma vez que o Na pode estar substituindo o K, que está com suprimento limitado (Malavolta *et al.*, 1997). Além disso, na espécie *R. mangle* a salinidade do sedimento está influenciando a absorção de K, o que deve estar relacionado à baixa salinidade verificada em todo o estuário estudado (Tab. 1).

Em detrimento das altas concentrações de Mn nas folhas de *R. mangle* (Tab. 2) o Ca do sedimento apresentou-se correlacionado com este elemento, o que implica que um elemento pode estar inibindo a absorção e transporte do outro, pois estes têm propriedades semelhantes, o que favorece esta competição.

Por meio da observação das ACPs (Fig. 3 e 4) foi possível notar também que as frações granulométricas mais finas do sedimento (silte e argila), determinam não só a maior retenção de metais pesados nos sedimentos, como já demonstrado em muitos outros estudos, como também a concentração destes nas folhas.

Logo, as correlações encontradas para os demais micronutrientes indicam ainda que apesar da formação das placas de ferro e conseqüente retenção de metais nos sedimentos associados à vegetação, os nutrientes absorvidos pelas plantas são controlados por suas concentrações no substrato da área estudada. Ademais, as correlações demonstradas entre variáveis ambientais e estes nutrientes nas folhas corroboram esta inferência, uma vez que as condicionantes do substrato controlaram a disponibilidade dos elementos químicos e a conseqüente absorção destes pelas plantas.

É importante ressaltar também que, de forma geral, para Análise de Componentes Principais (ACP) referente à espécie *L. racemosa* os elementos: Mn, K e P no sedimento tiveram maior peso em relação a Primeira Componente (Fator 1, Fig. 3a), enquanto que os micronutrientes Cu e Zn apresentaram maior importância em *R. mangle* para a mesma Componente Principal.

Também foi possível verificar a existência de um gradiente de concentração dos elementos, por meio da disposição dos pontos amostrados similar para as duas espécies estudadas. Para *L. racemosa* observou-se que: os pontos 8, 14 e 15 estiveram sob maior influência dos elementos químicos Fe, Mn, Al, Cu e Zn no sedimento, enquanto que os pontos 11 e 5 estiveram menos condicionados aos nutrientes determinados nos sedimentos e nas folhas (Fig. 3b). Em consonância, para *R. mangle* os pontos: 7 e 8 estão sob maior influência dos micronutrientes do sedimento, em detrimento dos pontos: 3, 4, 5 e 11.

Vale enfatizar também as correlações encontradas entre os parâmetros avaliados nos sedimentos do estuário do rio Passa Vaca. Assim, em detrimento da maior dominância da fração areia em quase todo estuário, foi ainda encontrado correlações entre as frações granulométricas e os metais pesados, sendo possível sugerir que a fração argila está controlando as concentrações de Fe ($r = 0,66$) e a fração silte as concentrações de Cu ($r = 0,60$) nos sedimentos. Também, foi observado que a fração silte está controlando as concentrações de fósforo assimilável ($r = 0,60$) e que este se correlaciona aos metais pesados estudados. Entretanto, não foram encontradas correlações entre os demais componentes da matéria orgânica e granulometria do sedimento.

3.2 Traçadores naturais da Matéria Orgânica

A variação das concentrações de fósforo assimilável, de nitrogênio (N), de Carbono Orgânico Total (COT), da relação carbono/nitrogênio (C/N) e das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) o de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) podem ser visualizados na Fig. 5.

No estuário do rio Passa Vaca não foram encontradas correlações entre as razões isotópicas avaliadas e entre estas e os demais componentes da matéria orgânica (COT e N) e granulometria do sedimento. Embora os teores de P tenham apresentado correlações com o N ($r = 0,63$).

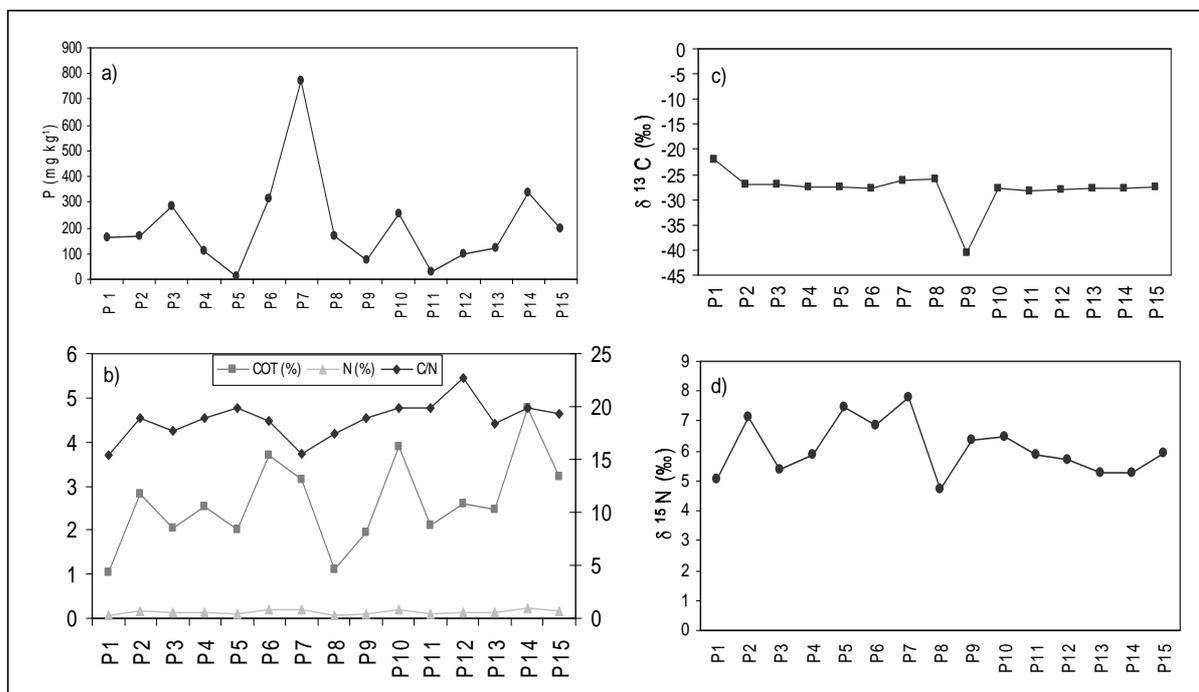


Figura 5: Variação das concentrações de P, COT, N e razões molares C/N e isotópicas nos sedimentos coletados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil. a) Concentrações de P assimilável; b) COT, N e relação C/N; c) Razão de carbono ($\delta^{13}\text{C}$); d) Razão de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$).

A Tab. 2 traz uma comparação dos traçados naturais no estudo da matéria orgânica (MO) em outros manguezais do Brasil e do mundo, a fim de melhor caracterizar a MO no estuário do rio Passa Vaca. Assim, observa-se que os valores mínimos e máximos de COT e a razão elemental C/N são maiores que os observados no estuário e na plataforma adjacente à desembocadura dos rios Mississipi e Amazonas. Estes traçadores são menores somente que os teores máximos determinados para o rio São Francisco (Tab. 2). Com isso, considera-se o estuário do rio Passa Vaca com quantidades consideráveis de MO. Os elevados valores da razão C/N indicam altas concentrações de carbono e baixas de nitrogênio (Fig. 5).

Além disso, pode-se inferir que a matéria orgânica depositada no sedimento do estuário do rio Passa Vaca é proveniente de plantas vasculares (como as plantas terrestres). Estas contêm maiores percentagens de carbono e menores percentagens de nitrogênio em consequência do desenvolvimento de tecidos em longas cadeias de carbono (como celulose) e relativamente pobres em proteínas (Meyers, 1997). Logo, por estes parâmetros é possível inferir que o carbono orgânico dos sedimentos superficiais do estuário em estudo é proveniente de fonte terrestre e não sofre influência direta do nitrogênio inorgânico trazido por descarga dos esgotos domésticos, presentes na área, pois este poderia contribuir para o decréscimo da razão C/N (Bordovskiy 1965, Mukuka & Shunula 2006) o que não foi verificado neste estudo. Além disso, o coeficiente de correlação entre o COT e o N foi considerado muito bom ($r = 0,97$), corroborando estas inferências. Como é possível observar também na Fig. 6, que apresenta uma Regressão Linear entre estas variáveis. Uma vez que a Regressão Linear fornece a equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos, pressupondo alguma relação de causa e efeito entre as variáveis.

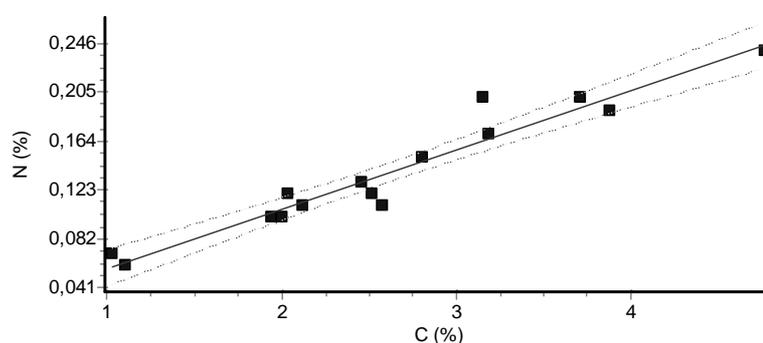


Figura 6: Regressão linear entre os teores de N e de C no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia, Brasil.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos sedimentos do rio Passa Vaca encontram-se dentro faixa de valores de razões isotópicas para sedimentos recentes, onde estão inseridos os sedimentos de manguezais, que é de -30 a -10 ‰ (Cifuentes *et al.*, 1996), e bem próximos dos valores encontrados para plantas de manguezal (Tab. 3), com a única exceção para ponto 9 (Fig. 4) que apresentou um valor discrepante de $40,5$ ‰. Esta discordância pode estar relacionada com enriquecimento de ^{13}C proveniente de fontes alóctones, como por exemplo a descarga de efluentes domésticos presente na área estudada.

Contudo, para os demais pontos amostrados o $\delta^{13}\text{C}$ teve variação apenas de $-28,2$ à $-21,1$ ‰, correspondendo, assim, à assinatura de plantas superiores de acordo com o referenciado por Gonçalves (2001). Embora outros autores tenham descrito que a assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ entre -18 ‰ e -24 ‰ está relacionadas ao fitoplâncton marinho (Fry & Sherr, 1984), e com isso no ponto 1 (bem próximo à foz do rio - Fig. 1) é possível sugerir que há contribuição presumível de matéria orgânica marinha adjacente das águas costeiras a esse manguezal.

No solo, a composição do $\delta^{15}\text{N}$ tem sido reportada em uma larga escala de valores que vão desde 5 a 20‰ dependendo do tipo de ecossistema (Florentine, 2007). A variação observada para o estuário do presente estudo (4,7 a 7,8 ‰) pode indicar grande influência tanto fluvial como marinha (Santos, 2007).

Tabela 3: Comparação de valores médios de carbono orgânico (COT), razão C/N e razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) entre alguns ambientes estuarinos e de manguezal.

Matriz	COT (%)	C/N (molar)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Sedimentos				
Estuário do rio Amazonas ¹	0,34 a 1,53	5 a 10	-24,1 a -19,7	-
Estuário do rio Mississipe ¹	0,43 a 0,80	5 a 8	-25,8 a -24,1	-
Estuário do rio São Francisco ²	0,02 a 6,74	11 a 45	-28,2 a -20,3	2 a 8
Manguezais do estuário do rio Paciência ³	-	10,22 a 39,67	-26,73 a -22,30	1,74 a 9,24
Estuário do rio Passa Vaca (Este estudo)	1,03 a 4,77	15 a 23	-27,9 a -40,5	4,7 a 7,8
Folhas				
Plantas de mangue ⁴	42,4 a 44,4	26,2 a 40	-27,9 a -24,9	-
Rhizophora ²	40	50,9	-28,2	-

Legenda: ¹ Ruttenberg e Goñi (1997); ² Santos (2007); ³ Mendes Filho (2009); ⁴ Jennerjahn & Ittekkot (2002).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Usando parâmetros como $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C/N as fontes e destino da MO e estruturas tróficas do ecossistema manguezais têm sido elucidados. A assinatura $\delta^{13}\text{C}$ e relação C/N dos sedimentos do estuário do rio Passa Vaca explicam que a vegetação da área fornece fração substancial da MO para a acumulação nos sedimentos.

Em adição, confirma-se que apesar das correlações apresentadas entre os nutrientes nas folhas e no substrato, a vegetação de manguezal funciona como uma eficiente barreira biogeoquímica no transporte de metais pesados. Uma vez que, a concentração destes nas folhas tende a ser reduzida em relação ao sedimento de manguezal.

Agradecimentos

À Coordenação de Auxílio à Pesquisa de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora. Ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio ambiente (POSPETRO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e ao Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/ UFBA) pelo apoio científico e financeiro a realização das análises químicas. Ao Laboratório de Física Nuclear (UFBA), em especial à Professora Maria do Rosário Zucchi, pela realização da Análise Elementar.

Referências

- Alongi DM. 2009. *The energetics of mangrove forests*. Springer, London, 216pp.
- Almeida, R. A. 2009. A degradação ambiental em áreas de preservação permanente da bacia do rio Passa Vaca (Salvador-BA). *In* Ingá. *Gestão de recursos hídricos*, 3, Ingá, p.: 157-166
- Andrews, J.E., Greenaway, A.M., Dennis, P.F., 1998. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbor, Jamaica. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**:743-756.

- Aspila, K. I.; Agemian, H.; Chau, A. S. Y. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, **101**: 187-197.
- Astm. American Society for Testing and Materials. 1992. *Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments*, **11** (02).
- Barrêdo, J. F.; Costa, M. L.; Progene, M. Do P. S. 2008. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. *Acta Amazônica*, **38** (3): 473-482.
- Bauer, J. E., Druffel, E.R.M., Wolgast, D.M, Griffin, S. 2002. Temporal and regional variability in sources and cycling of DOC and POC in the northwest Atlantic continental shelf and slope, Deep-Sea Research. Part 2. *Topical Studies in Oceanography* **49** (20): 4387–4419.
- Bernini, E.; Silva, M. A. B. da; Carmo, T. M. S. do e Cuzzuol, G. R. F. 2006. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, **29** (4): 689-699.
- Bordovskiy, O. K. 1965. Accumulation of organic matter in bottom sediments. *Marine Geology*, **3**:33-82.
- Bouillon, S., Connolly, R.M., Lee, S.Y., 2008. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. *Journal of Sea Research*, **59**: 44–58.
- Caetano, C. 2003. *Manguezal do Rio Passa-Vaca: uma proposta de política pública em Salvador-BA*. Edição do autor, Salvador, 144pp.
- CETESB. 2001. *Sistema estuarino de Santos e São Vicente*. SãoPaulo
- Cifuentes, L. A., Coffin, R. B.; Solorzano, L., Candenas, W., Espinoza, J., Twilley, R. R. 1996. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **43**: 781 – 800.
- Cloern, J.E., Canuel, E.A., Harris, D., 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, **47**: 713–729.
- Cole, M.L., Valiela, I., Kroeger, K.D., Tomasky, G.L., Cebrian, J., Wigand, C., McKinney, R.A., Grady, S.P., da Silva, M.H.C., 2004. Assessment of a d15N isotopic method to indicate anthropogenic eutrophication in aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, **33**: 124–132.
- Costa, A. B. 2006. Caracterização molecular e isotópica de material orgânico em sedimentos da Baía de Todos os Santos-BA. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 127p.
- Cuzzuol, G. R. F. & Campos, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. *Revta brasileira de Botânica*, **24** (2): 227-234.
- Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G., Lara, R.J., 2006. Mangroves, a major source of dissolved matter sources to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, **20** GB1012.
- Dittmar, T., Lara, R.J., 2001. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River: Evidence from long-term flux measurements. *Marine Ecology Progress Series*, **213**: 67–77.
- Fitter, A.H. & Hay, R.K.M. 1987. *Environmental physiology of plants*. Academic Press, Oxford. 423pp.
- Florentine, C. 2007. Stable isotope analysis of sedimentary organic matter from bioluminescent Bays in Vieques, Puerto Rico, suggest a link between mangrove decay and bioluminescence. *In: 20th Annual Keck Symposium*, p. 143. Disponível em: <http://keck.wooster.edu/publications>. Acessado em: 13 de jul de 2011.

- Fredriksen, S., 2003. Food web studies in a Norwegian kelp forest based on stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analysis. *Marine Ecology Progress Series*, **260**: 71–81.
- Fry, B., Sherr, E.B., 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science*, **27**: 13–47.
- Gonçalves, F.T.T., 2001. Controles Limnológicos sobre a Formação de rochas geradoras de petróleo lacustres: o exemplo da bacia de Camamu, Nordeste do Brasil. São Paulo, UNESP, *Geociências*, **20**(1):5-23.
- Grasshoff, k.; Ehrhaedt, m.; Kremling, K. 1983. *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, 2ed. Weinheim, Verlag Chemie.
- Jennerjahn, T.C., Ittekkot, V., 2002. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, **89**: 23–30.
- Kathiresan K, Bingham BL. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances In Marine Biology*, **40**: 81-251.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., Cyrill. M. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, **89** (2): 201-219.
- Kwak, T.J., Zedler, J.B., 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia*, **110** (2): 262–277.
- Lacerda, L.D., Rezende, C.E., José, D.V., Wasserman, J.C. & Francisco, M.C. 1985. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. *Biotropica*, **17**:260-262.
- Lacerda, L.D., Rezende, C.E., José, D.V., Francisco, M.C. 1986. Metallic composition of leaves from the Southeastern Brazilian coast. *Revista Brasileira de Biologia*, **46**:395-399.
- Lacerda, L.D., Martinelli, L.A., Rezende, C.E., Mozetto, A.A., Ovalle, A.R.C., Victoria, R.L., Silva, C.A.R., Nogueira, F.B. 1988. The fate of trace metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. *Science Total Environment* **75**:249-259.
- Lacerda, L.D.; Carvalho, C.E.V.; Tanizaki, K.F.; Ovalle, A.R.C. & Rezende, C.E. 1993. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rizospheres. *Biotropica*, **25**:252-257.
- Lacerda, L. D. 2007. Biogeoquímica de contaminantes no antropoceno. *Oecol. Bras.*, **11** (2): 297-301..
- Lamberti, A. 1969. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhém. *Boletim de Botânica*. **137** (23): 127pp.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. Rima, São Carlos, 531pp.
- Lepoint, G., Fre´de´rich, B., Gobert, S., Parmentier, E., 2008. Isotopic ratios and elemental contents as indicators of seagrass C processing and sewage influence in a tropical macrotidal ecosystem (Madagascar, Mozambique Channel). *Scientia Marina*, **72** (1): 109–117.
- Loh, P.S., Reeves, A.D., Harvey, S.M., Overnell, J., Miller, A.E.J. 2008. The fate of terrestrial organic matter in two Scottish sea lochs. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **76**: 566–579.
- Machado, W.; Moscatelli, M.; Rezende, L. G. & Lacerda L. D. 2002. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, **120**: 455-461.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C., Oliveira, S.A. de. 1997. *Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2ª Edição. Potafos, Piracicaba, SP, 319pp.

- McCallister, S.L., Bauer, J.E., Cherrier, J.E., Ducklow, H.W., 2004. Assessing sources and ages of organic matter supporting river and estuarine bacterial production: a multi-isotope ($\delta^{14}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$) approach. *Limnology and Oceanography*, **49** (5): 1687–1702.
- Mello, F. de A.; Brasil Sobrinho, M. de O.C. do, Arzolla, S. 1985. *Fertilidade do solo*. 3ª Edição. Editora Nobel, São Paulo, 400pp.
- Mendelsohn, I.A.; Kleiss, B.A., Wakeley, J.S., 1995. Factors controlling the formation of oxidized root channels—a review. *Wetlands*. **15**: 37–46.
- Mendes Filho, N. E. 2009. Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA). Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba, 186p
- Meyers, P. A. 1997 Organic geochemical proxies of paleoceanography, paleolimnologic and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, **27**: 213-250.
- Mutchler, T., Dunton, K.H., Townsend-Small, A., Fredriksen, S., Rasser, M.K. 2007. Isotopic and elemental indicators of nutrient sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, **74**: 449–457.
- Muzuka, A. N.N, Shunula, J. P. 2006. Stable isotope compositions of organic carbon and nitrogen of two mangrove stands along the Tanzanian coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **66**: 447-458
- Noaa.1999. Screening Quick Reference Tables. *National Oceanic And Atmospheric Administration*. USA, Seattle.
- Neto, A. (2000) Estudo geoquímico em sedimentos do trecho Oceano Atlântico de Salvador (BA) ao Cabo de São Tomé (RJ). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- Pi, N.; Tam, N.F.Y., Wong, M.H. 2011. Formation of iron plaque on mangrove roots receiving wastewater and its role in immobilization of wastewater-borne pollutants. *Marine Pollution Bulletin*, **1**:10.
- Rodrigues, K. M. R. 2005. Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 168p.
- Ruttemberg, K. C. & Goñi, M. A. 1997. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}\text{C}$ in arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Mar. Geol.*, **139**:123-145.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W. 1992. *Plant physiology*. 4ª edição. Wadsworth Publishing Company, Belmont.
- Santos, E. S. 2007. Aplicação de marcadores geoquímicos para a avaliação dos impactos das barragens nos sedimentos do estuário do Rio São Francisco. Niterói, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, UFF, Tese de doutorado, 180p
- Savage, C., 2005. Tracing the influence of sewage nitrogen in a coastal ecosystem using stable nitrogen isotopes. *Ambio*, **34** (2): 145–150.
- Schaeffer-Novelli, Y. e Citrón-Molero, G. 1986. *Guia para estudos em áreas de manguezal, estrutura, função e flora*. Caribbean Ecological Research, São Paulo. 150p.
- Schaeffer-Novelli, Y. 1995. *Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar*. Caribbean Ecological

Research, São Paulo, 64pp.

Semenssato-Jr, D. L.; Araújo, G, C, L; Funo, R, H, F; Sata-Cruz, J; Dias-Brito, D. 2007. Metais e Não-Metais em Sedimentos de um Manguezal Não-Poluído, Ilha do Cardoso, Cananéia (SP). *Revista Pesquisas em Geociências*, **34** (2): 25-31.

Siqueira, G. W.; Lima, W. N. de; Mendes, A. S.; Aprile, F. M.; Braga, E. de S.e Mahiques, M. M. de. 2004. Evolução do impacto ambiental causado por matéria orgânica, mercúrio e arsênio no sedimento de fundo do sistema estuarino de Santos. *Geochim. Brasil.*, **18** (1): 54-63.

Torres, A.P.& Almeida, R.A. 2008. Esboço sócio-ambiental da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca, SSA-BA. *Geotextos*, **4**: 37-51.

Tremblay, L.B., Dittmar, T., Marshall, A.G., Cooper,W.J., Cooper,W.T., 2007. Molecular characterization of dissolved organic matter in a North Brazilian mangrove porewater and mangrove-fringed estuaries by ultrahigh resolution Fourier Transform-Ion Cyclotron Resonance mass spectrometry and excitation/emission spectroscopy. *Marine Chemistry*, **105**: 15–29.

Vieira, B. P; Dias, D; Hanazaki, N. 2011. Homogeneidade de Encalhe de Resíduos Sólidos em um Manguezal da Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **11**(1):21-30.

Waisel, Y. 1972. *Biology of halophytes*. Academic Press, New York, 395pp.

6.3 INFERÊNCIAS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA MORFOLOGIA E QUÍMICA DE FOLHAS DE *RHIZOPHORA MANGLE* L. E *LAGUNCULARIA RACEMOSA* (L.) GAERTN NO ESTUÁRIO DO RIO PASSA VACA, SALVADOR-BAHIA, BRASIL

Autores:

Consuelo Lima Navarro de Andrade

Karina Santos Garcia

Joil José Celino

Bárbara Rosemar Nascimento Araújo

Ronaldo Montenegro Barbosa

Submetido a Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology em julho de 2011

INFERÊNCIAS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA MORFOLOGIA E QUÍMICA DE FOLHAS DE *RHIZOPHORA MANGLE* L. e *LAGUNCULARIA RACEMOSA* (L.) GAERTN NO ESTUÁRIO DO RIO PASSA VACA, SALVADOR-BAHIA, BRASIL

MORFOLOGIA E QUÍMICA DE VEGETAÇÃO DE MANGUEZAL

ABSTRACT

The morphology and chemistry of leaves of the species *Rhizophora mangle* L. and *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn were studied in the estuary of the river Passa Vaca, located in the urban area of Salvador, Bahia, Brazil. We established three sampling areas, which were identified in three trees of each species and collected in every 30 adult leaves, making a total of 90 leaves of each species collected at each point. These were evaluated: the biometric measurements, the external characteristics (necrosis, chlorosis, perforations, revolute edges and dark spots), the internal characteristics (arrangement of various tissues, presence of glands, gall, Druze, etc.) using histological, and the chemical composition. Level morphological species have many adaptations related mainly to the maintenance of homeostasis, such as the presence of large sub-stomatal chambers in both species evaluated and mucilage cells in *Rhizophora mangle* L. In addition, we could infer that certain adjustments are related to the survival in an anthropic environment, such as reduced thickness of palisade parenchyma in *L. racemosa*. The order of concentration of nutrients was Na > Mg > Ca > K > Fe > Al > Mn > Zn > Cu for *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn and Na > Mg > Ca > K > Mn > Fe > Al > Cu > Zn for *Rhizophora mangle* L. The results of the tests and multivariate inferences also indicated that the chemical composition of leaves has a direct influence on the development of the species studied, it was possible to observe correlations between Zn, Mn and K, Al with the length of the leaves of *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; Fe and K with the width and Al with the width and length of leaves of *Rhizophora mangle* L.

Keywords: mangrove, vegetation, morphological adaptations, nutrition assessment.

1. INTRODUÇÃO

Manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ecossistemas terrestres e marinhos, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés. É constituído de espécies vegetais lenhosas típicas, além de micro e macroalgas, adaptadas à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (Schaeffer-Novelli, 1995). Este ecossistema apresenta uma baixa diversidade de espécies vegetais, condicionada por essa necessidade de adaptação das espécies às condições ambientais. As espécies tipicamente encontradas no manguezal brasileiro são *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, popularmente conhecida como mangue preto, *Rhizophora mangle* L., como mangue vermelho e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaerten, como mangue branco (Lacerda, 2003).

A comunidade vegetal tem importante papel na circulação dos elementos químicos e muitos trabalhos têm relatado que a ocorrência de fatores estressantes, causados por determinados tipos de impactos ambientais, podem promover alterações anatômicas, morfológicas e fisiológicas nos vegetais (Blom, 1999; Gonçalves, 2010; Garcia et al., 2008; Silva et al., 2010a, b).

A composição química das folhas pode ser influenciada pelas características químicas e físicas do ambiente, como grau de poluição ou nível de exposição/imersão (expresso pela distância da borda ou margem dos bosques) (Ignácio et al., 2005). Em adição, muitos estudos têm apontado à vegetação de manguezal como eficiente barreira biogeoquímica à exportação de contaminantes para as áreas costeiras.

Dentro deste contexto, os objetivos do presente estudo foram conhecer e caracterizar a morfologia de folhas das espécies *R. mangle* e *L. racemosa*, de uma

floresta de manguezal no estuário do rio Passa Vaca, situado em área urbana da cidade de Salvador, no Estado da Bahia; avaliar a composição química destas folhas e verificar a possível influência desta no desenvolvimento das espécies, por meio da utilização de ferramentas da estatística inferencial e multivariada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Passa Vaca está localizada entre as coordenadas S 12°58 e 12°56, W 38°24 e 38°25, possuindo uma área de 3,76 k m² ocupada por vestígios do Bioma Mata Atlântica, altamente degradado em todo seu alto curso (Almeida, 2009). A área abrangida por este estudo está restrita ao baixo curso da bacia, representada por terras baixas, pois é nesta que está localizado o manguezal, na orla leste da cidade de Salvador. Este manguezal destaca-se por ser o último remanescente em área urbana da chamada parte “alta” da cidade do Salvador (BA).

Em 1980 este manguezal possuía uma área original de 50 mil m², mas que hoje está reduzida a apenas 14 mil m², devido à implantação de projetos imobiliários, clubes recreativos e escolas (Caetano, 2003). Em adição, obras de pavimentação e construção de pontes são responsáveis pela redução da área de captação da bacia, pela alteração na rede de drenagem, diminuição do volume hídrico e da capacidade de infiltração, além da diminuição considerável do aporte de água salgada ao ecossistema manguezal, contribuindo para a ruptura do já frágil equilíbrio existente (Torres & Almeida, 2008). Também foi possível verificar o lançamento de efluentes domésticos através de fontes pontuais e difusas.

Segundo a classificação de Lugo & Snedaker (1974) e Citrón & Schaeffer-Novelli (1983), as florestas de manguezal estudadas são do tipo fisiográfico ribeirinho, o qual margeia rios e canais de maré e exhibe melhor desenvolvimento estrutural quando comparado aos tipos fisiográficos de franja e bacia. As espécies

vegetais que compõem este ecossistema são *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L.

Rhizophora mangle é uma espécie de hábito arbóreo pertencente à Classe Dicotyledoneae, ordem Myrtiflorae e família Rhizophoraceae. Possui reprodução vivípara e um dos aspectos de maior destaque desta espécie está na existência de ramos que se projetam de várias posições do caule principalmente em direção ao solo, denominados rizóforos, que promovem a sustentação e a troca de oxigênio com a atmosfera (Sugiyama, 1995). De modo geral, desenvolve-se melhor em solos siltosos rasos, inundados por água salobra e protegidos da ação direta das ondas e do oceano, mas que estejam em locais com abundância de água natural e elevados índices de pluviosidade (Jimenez, 1985).

Também pertencente à classe Dicotyledoneae e à ordem Myrtiflorae, a espécie *L. racemosa* está enquadrada na família Combretaceae. Esta difere das outras de manguezal por apresentar geralmente um menor porte. A reprodução desta espécie também ocorre por viviparidade; suas folhas têm pecíolo vermelho com duas glândulas de sal em sua parte superior; possui um sistema radicular com pneumatóforos, que consiste em raízes aéreas que permitem através da ação de lenticelas a realização de trocas gasosas e a conseqüente aeração do sistema radicular (Sugiyama, 1995). Esta espécie consegue se desenvolver bem nos mais diversos tipos de solos, desde arenosos a argilosos. Estes devem, porém, se encontrar em locais com presença de água salobra e posição elevada ou interna onde a frequência e a intensidade das marés são menores (Jimenez, 1988).

Para a definição das áreas de amostragem foram utilizados critérios relativos às características da fonte poluidora, sua proximidade ao ecossistema manguezal e o grau de desenvolvimento da flora associada. Foram estabelecidas três áreas de

amostragem (Figura 1). A primeira na região mais próxima da foz do rio, a qual foi canalizada para construção de uma ponte. A segunda na região medial do estuário e a terceira na parte superior onde se encontram tubulações metálicas de água. Em cada área foram identificadas aleatoriamente três árvores de cada espécie representativa de manguezal, *L. racemosa* e *R. mangle*, com exceção para a área 1 na qual a *R. mangle* não ocorreu, devido ao próprio zoneamento do manguezal estudado. Em todas as árvores foram coletadas 30 folhas adultas, a partir do 3º nó dos ramos das plantas contando do meristema apical.

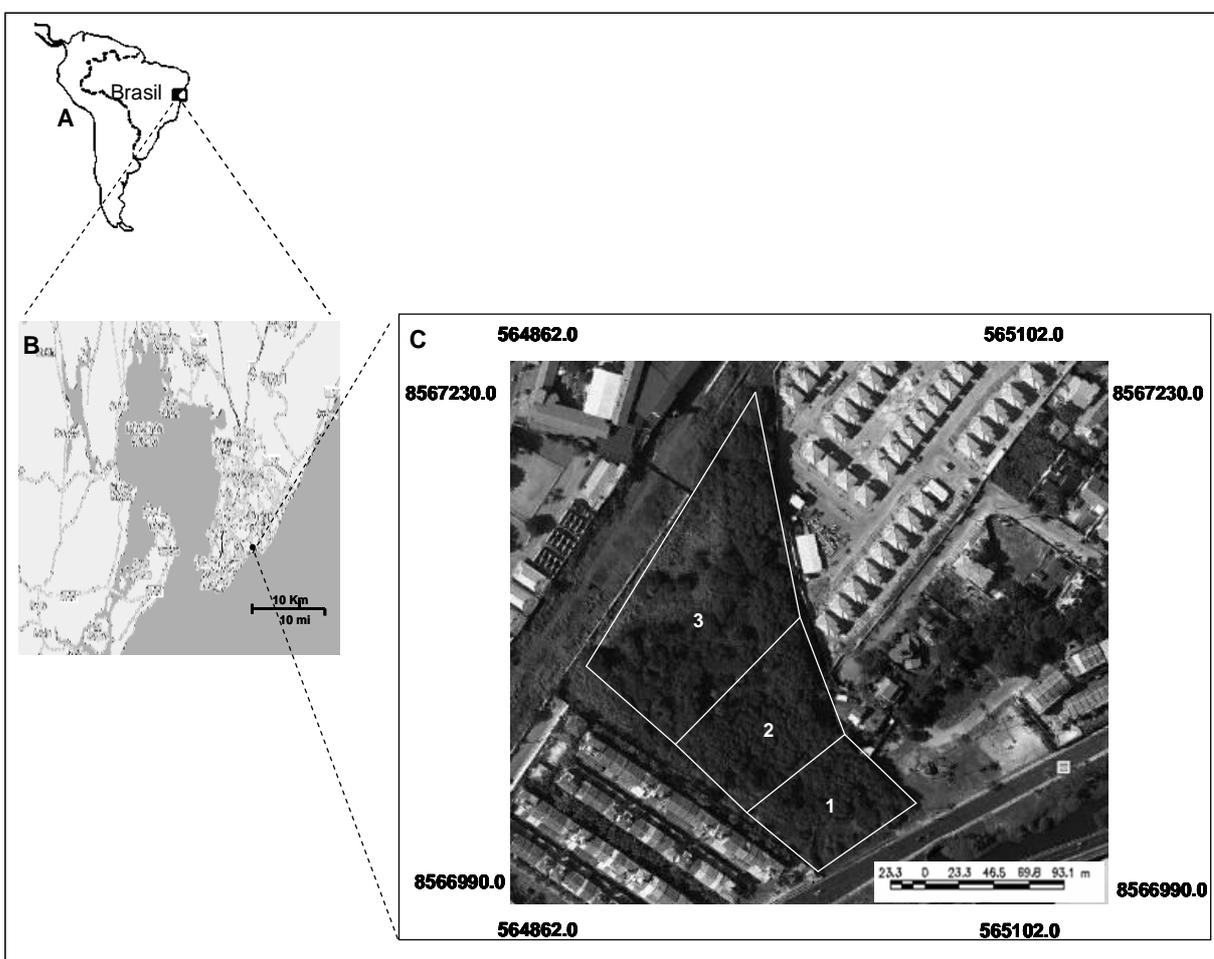


Figura 1: Mapa de situação e localização da área de estudo e dos pontos amostrados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. A- Situação da América Latina e Brasil. B- Localização no município de Salvador. C- Localização das áreas de amostragem (1, 2 e 3).

Todas as folhas coletadas passaram por análises biométricas de comprimento e largura do limbo foliar, utilizando-se um paquímetro manual de alta precisão, e identificação das características físicas por meio de minuciosa observação que resultaram em uma diagnose visual.

O material utilizado para análise anatômica foi fixado em FAA₅₀ (formol; ácido acético; álcool a 95%) e posteriormente foram realizados cortes transversais de folha e pecíolos em material emblocado em parafina, cortados em micrótomo rotativo, no qual a folha é seccionada por navalha de aço para montagem de lâminas. As lâminas foram fixadas com adesivo de Haupt e coradas com safranina 1%, preparada em etanol 70%, e azul de alciano 1%, em álcool 50%. Posteriormente foi feita a montagem de lâminas permanentes com Bálsamo do Canadá, conforme a metodologia descrita e modificada de Kraus & Arduin (1997). As lâminas foram analisadas através de microscópio binocular em 4X, 10X, 20X 40X e 100X e as fotomicrografias foram realizadas em microscópio binocular com câmara digital acoplada.

Para as análises químicas as folhas passaram inicialmente por uma secagem em liofilizador modelo Liotop, marca Liobras e em seguida foram trituradas em liquidificador por 3 minutos, para obtenção de partículas menores e homogêneas de acordo com a metodologia proposta por Rodrigues (2005). Foi realizada uma extração parcial com 0,5g de amostra utilizando-se ácido nítrico (1:1) em forno microondas, marca Provecto, modelo DGT 100 plus, conforme descrito em ASTM (1992), e determinação através do Aparelho de Espectrometria de Absorção Atômica com chama da marca Varian, modelo AA 220FS, dos elementos: Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu.

Para o tratamento estatístico foi feita inicialmente uma análise descritiva dos dados através do software Microsoft Excel 2007. Em seguida foram aplicados os testes inferências, com nível de 5% de probabilidade: Teste de Normalidade (KS); teste T não pareado, no caso de duas amostras; ANOVA one way com o Teste de Tukley para comparação múltipla entre dados paramétricos; ANOVA não paramétrica com teste de Kruskal-Wallis para dados não paramétricos; e Teste de Correlação de Pearson entre os pares de variáveis pelo programa GraphPaD InStat 3.0. Além destes, foram feitas análises multivariadas, com Análise de Componentes Principais (ACP) através do software STATISTICA v.7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diagnose visual

Por meio da diagnose visual a integridade das folhas foi avaliada *in loco*, observando-se as características externas do limbo quanto à presença de alterações do tipo: necrose tecidual, em estágio inicial e avançado; clorose (amarelecimento); perfurações; bordas revolutas (enrolamento das bordas para face abaxial); e presença de manchas escuras, que estiveram presentes em ambas as espécies, com exceção de bordas revolutas, que foram encontradas somente na espécie *L. racemosa* (Figura 2). Uma vez que, *R. mangle* possui hipodermes, que são células brancas com paredes finas com função de armazenamento de água (Lamberti, 1969), e impedem esse enrolamento das bordas. Ainda com relação a este parâmetro seus maiores percentuais foram observados nas parcelas 1 e 3. Entretanto, as mesmas áreas apresentaram menores valores para necrose em ambas as espécies. Na estação 1 foram observadas poucas folhas com perfurações (Figura 2).

O comprimento das folhas de *L. racemosa* variou de 7,9 a 13 cm e a largura de

2,3 a 5,7 cm, enquanto as de *R. mangle* variaram em comprimento de 10,2 a 15,2 cm e largura de 4,7 a 7,1 cm, permitindo assim a observação de que as folhas desta última possuem no geral maior tamanho e largura, o que está relacionado as características da espécie (Figura 3). Os resultados para os testes de comparação de médias de cada espécie são apresentados na Tabela 1, por meio da qual é possível observar, sobretudo que os dados de comprimento e largura apresentaram ampla variabilidade; demonstrando, inclusive, que a diferença das médias biométricas entre as áreas de amostragem para *L. racemosa* foi significativa, em detrimento de *R. mangle*, para a qual a significância dessa diferença não foi determinada.

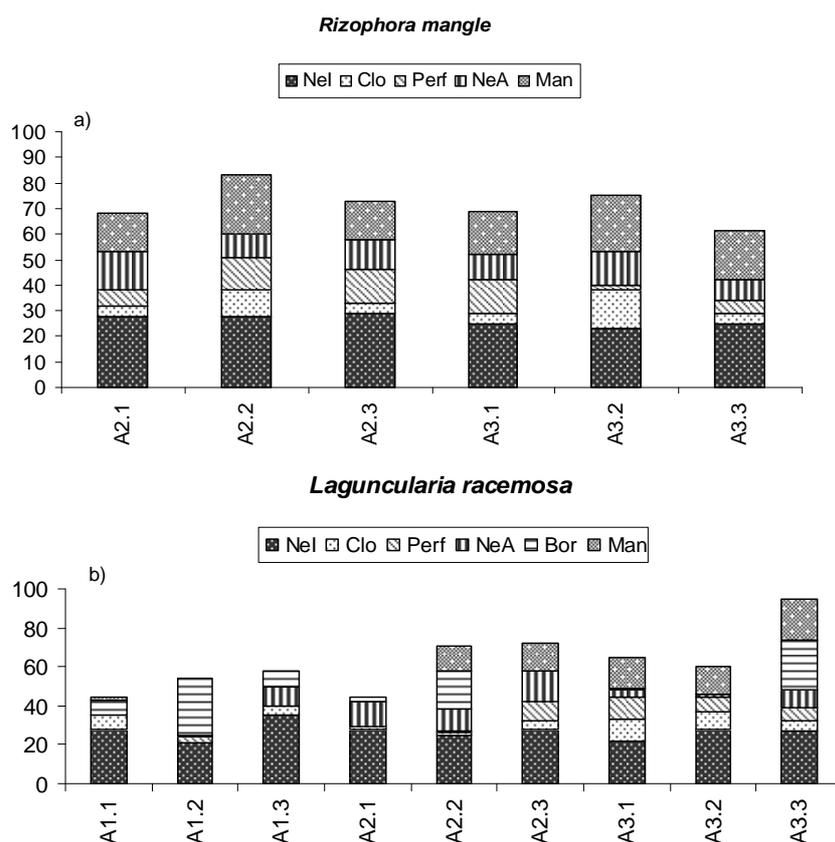


Figura 2: Aspectos da morfologia externa, em número de folhas, por árvore coletada no manguezal do rio Passa Vaca, Salvador-BA. Nel= Necrose inicial; Nea= Necrose Avançada; Clo= Clorose; Perf= Perfuração; Bor= Borda revoluta; Man= Manchas escuras.

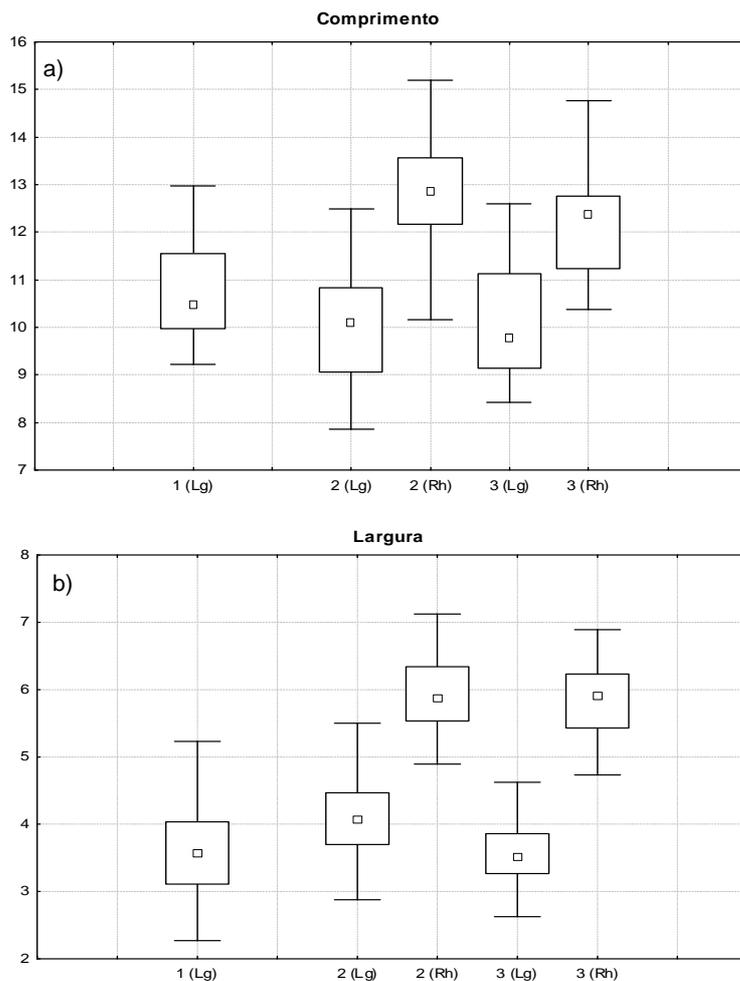


Figura 3: *Box Plot* com médias das medidas biométricas foliares por área amostral (1, 2 e 3) das espécies amostradas no manguezal do rio Passa Vaca, Salvador, BA. a) Comprimento e b) Largura das folhas. Lg = *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; Rh = *Rhizophora mangle* L.

As medidas biométricas em Passa Vaca foram maiores que as encontradas por Gonçalves (2010), para manguezais submetidos a impactos portuários e petrolíferos, com exceção das medidas de largura para *L. racemosa*, que se mostraram menores para o manguezal do presente estudo. O autor citado observou para *L. racemosa* médias de: 4,7 cm de largura e 8,5 cm de comprimento; e para *R. mangle*: 5,3 cm de largura e 9,5 cm de comprimento. Assim, comparativamente ao manguezal estudado por Gonçalves (2010) é possível inferir que aparentemente não houve uma redução na superfície foliar das espécies, o que Schaeffer-Novelli & Citrón (1986) classificariam como indicador de boa qualidade ambiental. Pois para estes autores a

redução da superfície foliar sugere uma alteração no seu desenvolvimento. Embora dados temporais na mesma área de estudo devessem ser utilizados.

3.2 Anatomia vegetal

Por meio da análise anatômica dos tecidos ficou evidente que a vegetação do manguezal estudado apresenta diversas características adaptativas à condição de estresse salino em que o ecossistema de manguezal está inserido. Outros autores (Tomlinson, 1986; Araújo, 2000; Alves, 2001; Garcia et al., 2008; Silva et al., 2010a e b), também observaram a presença de adaptações para manutenção da homeostase nas espécies manguezal. Muitas destas adaptações encontradas estão relacionadas com o controle da perda de água pelas folhas, favorecendo a regulação osmótica e manutenção do equilíbrio interno do vegetal.

Tabela 1: Medidas biométricas (cm) das espécies amostradas no manguezal do rio Passa Vaca, Salvador, BA (média \pm desvio padrão). Letra “A” compara dentro das áreas e “B” entre as áreas de amostragem. Letras minúsculas indicam que não há diferenças significativas entre as médias ou medianas das variáveis avaliadas para cada espécie e letras maiúsculas indicam que há diferença com 5% de probabilidade pelos testes de: Tukey^T; de Kruskal-Wallis^K; e T não pareado^{tT}.

	Comprimento	Largura
Área 1		
<i>L. racemosa</i>	10,8 \pm 1,1 A ^K	3,6 \pm 0,6 A ^T
Área 2		
<i>L. racemosa</i>	10,0 \pm 1,1 A ^T	4,1 \pm 0,7 A ^K
<i>R. mangle</i>	12,6 \pm 1,3 a ^K	5,9 \pm 0,6 A ^K
Área 3		
<i>L. racemosa</i>	10,1 \pm 1,2 a ^T	3,6 \pm 0,5 A ^K
<i>R. mangle</i>	12,3 \pm 1,1 A ^K	5,8 \pm 0,5 A ^K
Média entre áreas		
<i>L. racemosa</i> ^T	10,3 \pm 1,2 B	3,8 \pm 0,7 B
<i>R. mangle</i> ^{tT}	12,5 \pm 1,2 b	5,9 \pm 0,5 b

3.2.1 *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn

A estrutura geral das folhas não variou entre as áreas amostradas e está apresentada na Figura 4. A epiderme apresentou-se uniestratificada; parênquima

paliçádico com 2 a 3 camadas de células alongadas, com pouca espessura e lacunoso com células grandes e arredondadas, com poucos espaços intercelulares, revelando, assim, uma característica atípica para esta espécie (Figura 4A).

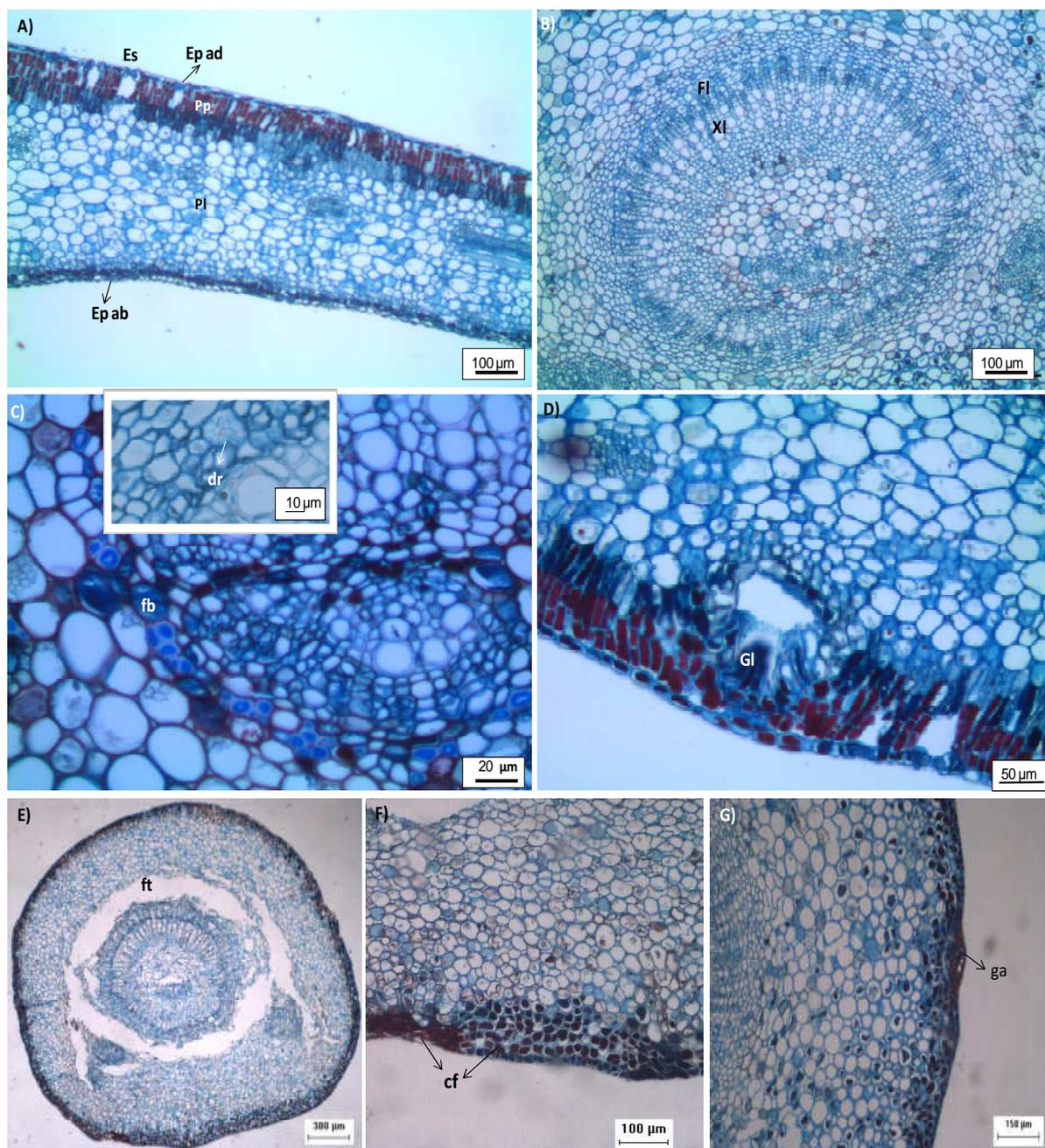


Figura 4: Secções transversais de folhas adultas de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn coletadas no manguezal do rio Passa Vaca, Salvador-BA. A, C, D secções do limbo e B, E, F e G - secções de pecíolos. Ep ad= epiderme adaxial; Ep ab= epiderme abaxial; Pp= parênquima paliçádico; Pl= parênquima lacunoso; Es= estômato; Xl= xilema; Fl= floema; dr= drusa; fb= fibras; Gl= glândula de sal; ft= fragilidde tecidual; cf= compostos fenólicos ga= galha.

Essa pequena espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso observados nos espécimes de *L. racemosa* na área estudada, também foi verificado por Silva et al. (2010a), em um manguezal impactado em Santos, SP, e por Alves (2001) em folhas de *Tradescantia sp* submetidas à poluição aérea. A redução na espessura desses tecidos, que resulta da diminuição dos espaços intercelulares, pode ter a finalidade de dificultar deslocamento dos poluentes no interior da folha (Alves, 2001), além de refletir na diminuição do clorênquima (tecido fotossintetizante).

Por meio da observação das lâminas dos pecíolos ficou evidente a disposição do sistema vascular em cilindro contínuo (Figura 4B), e ao redor dos feixes vasculares foi possível detectar a presença de fibras (Figura 4C). No parênquima fundamental observou-se ainda a presença de colênquima do tipo lacunar e angular

Foram observados estômatos no pecíolo e nas faces abaxiais e adaxiais do limbo foliar com câmaras subestomáticas amplas em contato direto com o parênquima clorofiliano (Figura 4A).

Na Figura 4D pode-se observar uma glândula de sal. Foi possível observar também em muitas secções avaliadas a presença de fragilidades teciduais (Figura 4E) e necroses, como também visualizado externamente (Figura 2), com destaque para duas árvores amostradas na área 1, que apresentaram fragilidade epidérmica e parenquimática em quase todos os espécimes avaliados. Ambas situam-se na mesma margem do rio, bem próximo à foz, que é canalizada.

Foi possível visualizar a concentração de substâncias similares a compostos fenólicos nas camadas subepidérmicas (Figura 4F) e muitas drusas concentradas principalmente na lâmina lateral, floema e no parênquima fundamental (Figura 4C). Drusas são pequenos cristais de oxalato de cálcio, livremente agregados em grupos mais ou menos esféricos (Metcalfe & Chalk, 2004). A presença de cristais está

relacionada a uma adaptação dos vegetais contra herbivoria, balanço iônico e ao desenvolvimento do tubo polínico, servindo como fonte para a formação desta estrutura, visto que o crescimento deste, requer gradientes intracelulares de cálcio (Messerli et al., 2000; Holdaway-Clarke et al., 2003).

Na Figura 4G visualiza-se a formação de uma galha, muito comum nas amostras coletadas. Entretanto, nos espécimes avaliados foi detectada com maior precisão a presença de galhas somente a nível histológico microscópico. Galhas são crescimentos especializados em tecidos vegetais, induzidos por alguns vírus, bactérias, fungos, nematóides, ácaros e insetos, que uma vez instalados obtêm alimento e abrigo (Arduim & Kraus, 2001), podendo formar estruturas facilmente visualizadas externamente. Entretanto, estes autores demonstraram que alguns tipos de galhas mostram interações mais complexas e incluem também alterações no tecido vegetal.

3.2.2 *Rhizophora mangle* L.

Na Figura 5 é possível observar as características estruturais básicas encontradas nos espécimes estudados. O formato da cutícula desta espécie apresentou-se discretamente em flanges, mais evidente nas secções das nervuras principais do limbo e nos pecíolos (Figura 5A).

A Figura 5B demonstra a epiderme uniestratificada, duas camadas de células parenquimáticas com acúmulo de substâncias similares a compostos fenólicos. Em seguida ocorrem duas camadas de hipodermes, que também foram encontradas por Silva et al. (2010b) para esta mesma espécie e por Araújo (2000) na espécie *Avicennia germinans* (L.) L. após a hipoderme visualiza-se a presença de células mucilaginosas, que são células que contém mucilagens e estão envolvidas com a manutenção da homeostase.

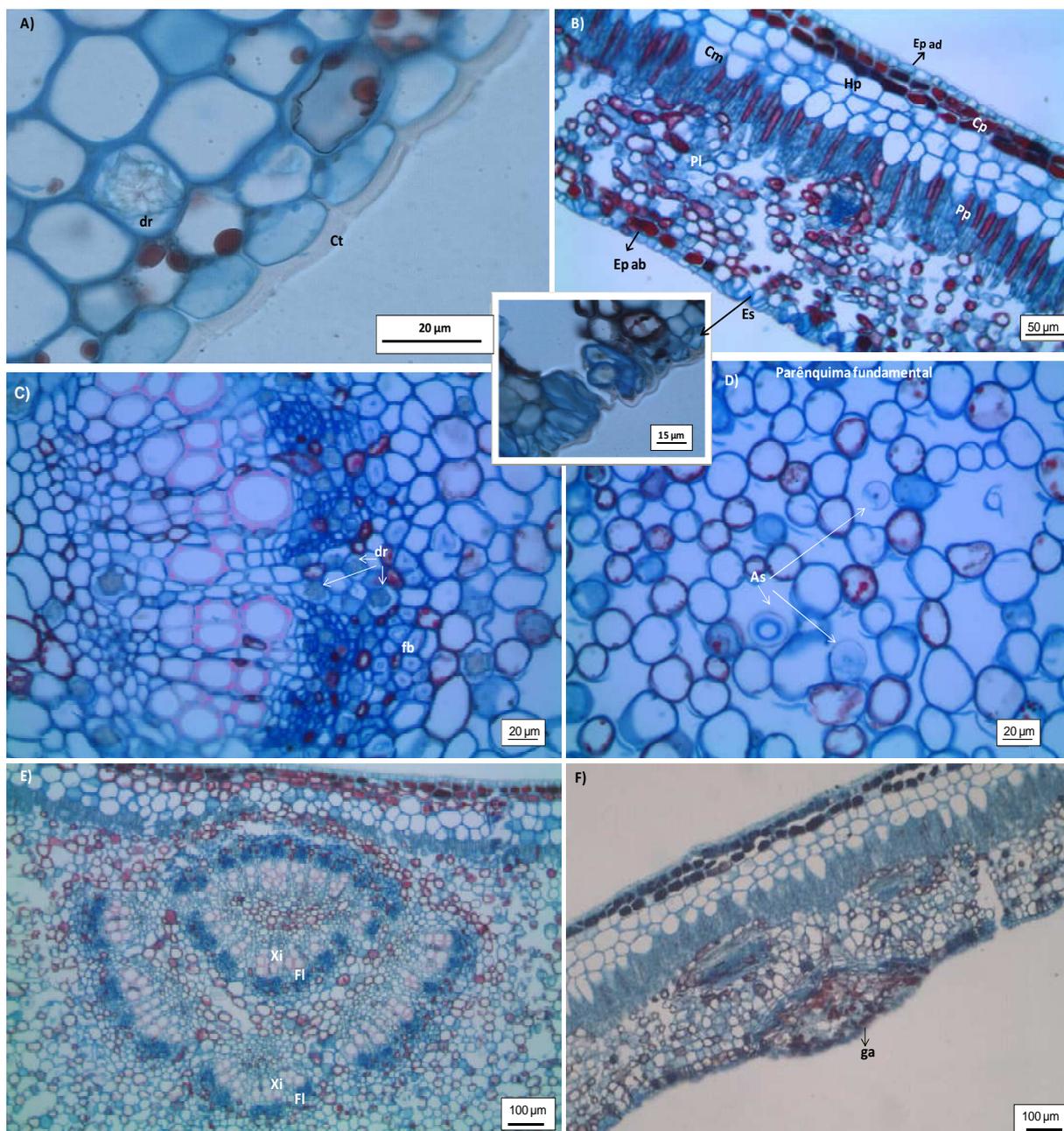


Figura 5: Secções transversais de folhas adultas de *Rhizophora mangle* L. coletadas no manguezal do rio Passa Vaca, Salvador, BA. A, B e F- secções da lâmina lateral e C, D e E- secções da nervura principal. Ct= cutícula; dr= drusa; Es= estômato; Ep ad= epiderme adxial; Ep ab= epiderme abaxial; Hp= hipoderme; Cp= células parenquimáticas; Cm= células mucilaginosas Pp= parênquima paliçádico; Pl= parênquima lacunoso; Pf= parênquima fundamental; Xi= xilema; Fl= floema; fb= fibras; As= astroesclereides; ga= galha.

O parênquima paliçádico que é composto de células bem alongadas e estreitas, com duas a três camadas (Figura 5B), e o parênquima lacunoso, que contrariamente à *L. racemosa* apresenta os muitos espaços intercelulares, para a reserva de ar.

Uma vez que, o excesso de água a que a vegetação de manguezal está submetida dificulta as trocas gasosas.

Foi detectada ainda a presença de muitas drusas (Figura 5A e C), sobretudo no floema, ocorrendo também no parênquima fundamental e lâmina lateral; fibras ao redor dos tecidos condutores (Figura 5C); astroesclereides (Figura 5D) são característicos do gênero. O colênquima é do tipo lacunar e angular como também foi encontrado na *L. racemosa*.

Como característico da espécie, os estômatos estão restritos à epiderme abaxial, com amplas câmaras subestomáticas (Figura 5B) e em muitos casos localizados com nível um pouco mais abaixo das demais células epidérmicas, reforçando ainda mais o controle da perda excessiva de água pela transpiração.

Foi possível observar a disposição do sistema vascular em feixes concêntricos discretamente demonstrados na Figura E. Por meio da avaliação dos pecíolos foi possível registrar uma leve fragilidade tecidual no cótex, não verificada nos cortes do limbo.

É necessário salientar ainda que para esta espécie também não foram encontradas diferenças estruturais entre as áreas amostradas e no geral os tecidos apresentaram-se bem preservados. Embora galhas (Figura 5F) e necroses tenham sido observadas em nível microscópico.

Além disso, destaca-se que de modo geral, os resultados encontrados para a anatomia de *R. mangle* e *L. racemosa* não diferiram dos encontrados por Silva et al. (2010a e b) para as mesmas espécies de um manguezal impactado.

3.3 Avaliação química

As concentrações dos macronutrientes e o Na (micronutriente) avaliados nas folhas seguiram a mesma ordem de concentração nas duas espécies estudadas: Na

> Mg > Ca > K, com exceção das concentrações de K na área amostral 1 que foram maiores que as de Ca (Tabela 2). Os demais micronutrientes estiveram sempre em menor quantidade com ordem de concentração: Fe > Al > Mn > Zn > Cu para *L. racemosa*, e: Mn > Fe > Al > Cu > Zn para *R. mangle*. Na área 2, entretanto, foi verificado para *L. racemosa* que as concentrações de Cu foram maiores que as de Zn e para *R. mangle* verificou-se exatamente o contrário (Tabela 2).

Tabela 2: Concentração de macronutrientes e micronutrientes, nas folhas das espécies analisadas, no manguezal do estuário do rio Passa vaca (média \pm desvio padrão). Lg = *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; Rh = *Rhizophora mangle* L.

Espécie	Cu	Zn	Mn	Fe	Al	Na	K	Mg	Ca	
	-----mg kg ⁻¹ -----					-----g kg ⁻¹ -----				
A1	Lg	9,2 \pm 8,8	28,9 \pm 2,6	92,0 \pm 46,5	360 \pm 52,3	95,6 \pm 15,9	10,8 \pm 1,3	3,7 \pm 1,1	5,6 \pm 0,7	3,1 \pm 0,9
	Lg	26,0 \pm 16,4	21,8 \pm 8,8	71,4 \pm 44,5	703,1 \pm 135,9	293,5 \pm 86,4	12,8 \pm 1,2	1,8 \pm 0,7	5,4 \pm 0,5	2,6 \pm 0,4
A2	Rh	2,4 \pm 2,3	4,6 \pm 2,3	219,9 \pm 40,6	173,3 \pm 61,2	91,3 \pm 26,8	6,8 \pm 6,1	0,6 \pm 0,4	6 \pm 1,0	3,8 \pm 1,3
	Lg	16,7 \pm 5,8	16,5 \pm 8,2	67,7 \pm 28,8	1312,3 \pm 571,0	142,6 \pm 59,1	11,7 \pm 2,1	1,8 \pm 0,7	4,0 \pm 0,5	2,1 \pm 0,9
A3	Rh	10,8 \pm 3,3	8,2 \pm 0,9	276,0 \pm 131,0	210,5 \pm 58,5	83,7 \pm 84,9	10,5 \pm 1,1	0,9 \pm 0,2	6,5 \pm 0,8	3,7 \pm 0,8

Verificado a normalidade dos dados foi possível estabelecer correlações entre as medidas biométricas e os teores dos elementos químicos encontrados nas folhas, de cada espécie estudada no estuário do rio Passa Vaca. A partir disto também foi possível verificar diferentes correlações interespecíficas entre estes parâmetros. Para a espécie *L. racemosa* as concentrações de Zn, Mn e K estão influenciando diretamente o comprimento das folhas, enquanto que e as concentrações de Al parecem influenciar de forma inversa (Tabela 3 e Figura 6).

Nas folhas da *R. mangle*, entretanto, o Al se correlaciona diretamente ao comprimento das folhas, além disso, o Al e o Fe também estão influenciando de forma direta e o K de forma inversa na largura das folhas (Tabela 4 e Figura 7).

Tabela 3: Matriz de correlação entre as medidas biométricas e os elementos químicos avaliados nas folhas de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA.

	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Al	Na	K	Comp.	Larg.
Cu	1,00										
Zn	0,01	1,00									
Mn	0,01	0,48	1,00								
Fe	0,10	-0,22	0,01	1,00							
Mg	0,10	0,41	0,05	-0,64	1,00						
Ca	0,08	0,25	0,59	-0,45	0,63	1,00					
Al	0,71	-0,34	-0,34	-0,12	0,23	-0,11	1,00				
Na	-0,11	-0,01	-0,32	0,42	-0,14	-0,64	0,24	1,00			
K	-0,34	0,54	0,40	-0,62	0,18	0,25	-0,45	-0,46	1,00		
Comp.	-0,01	0,63	0,91	-0,06	-0,01	0,51	-0,51	-0,41	0,52	1,00	
Larg.	0,18	-0,31	-0,45	-0,39	0,23	0,09	0,41	0,02	-0,26	-0,36	1,00

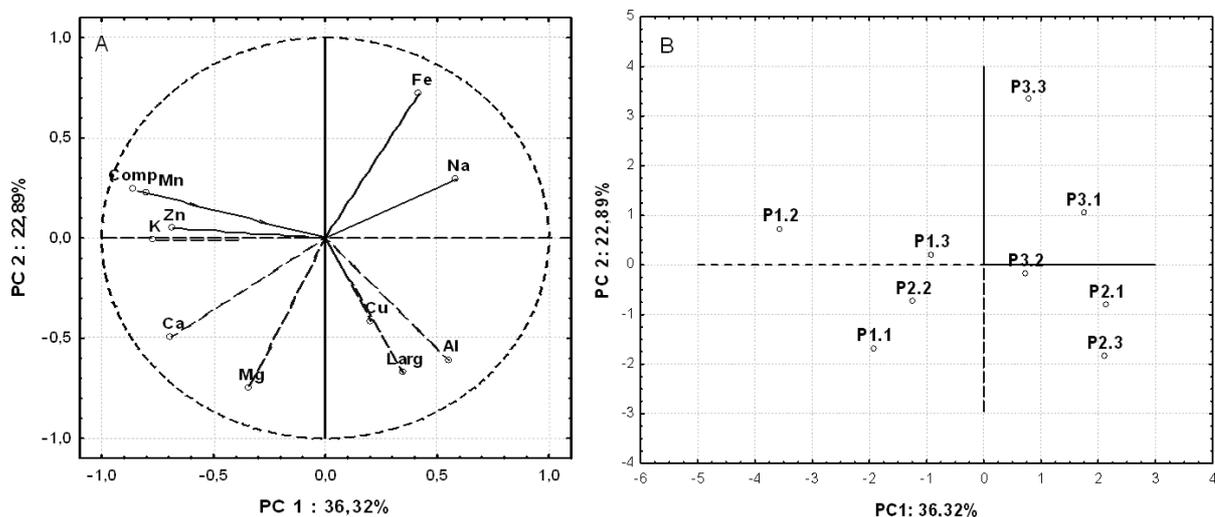


Figura 6: Análise de componentes principais (ACP) entre as medidas biométricas e os elementos químicos avaliados nas folhas de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA. A- Gráfico de pesos das variáveis. B- Gráfico de escores das áreas de amostragem.

Tabela 4: Matriz de correlação entre as medidas biométricas e os elementos químicos avaliados nas folhas de *Rhizophora mangle* L. amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA.

	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Al	Na	K	Comp.	Larg.
Cu	1,00										
Zn	0,68	1,00									
Mn	0,72	0,42	1,00								
Fe	0,42	0,55	0,28	1,00							
Mg	0,31	0,57	0,43	0,11	1,00						
Ca	0,28	-0,41	0,50	-0,39	0,06	1,00					
Al	-0,07	-0,10	-0,22	0,71	-0,24	-0,21	1,00				
Na	0,26	0,85	0,06	0,67	0,49	-0,75	0,19	1,00			
K	0,57	0,13	0,31	-0,49	0,20	0,61	-0,60	-0,36	1,00		
Comp.	-0,12	-0,31	-0,29	0,48	-0,28	0,02	0,95	-0,07	-0,41	1,00	
Larg.	-0,05	-0,14	-0,22	0,67	-0,24	-0,14	1,00	0,13	-0,53	0,97	1,00

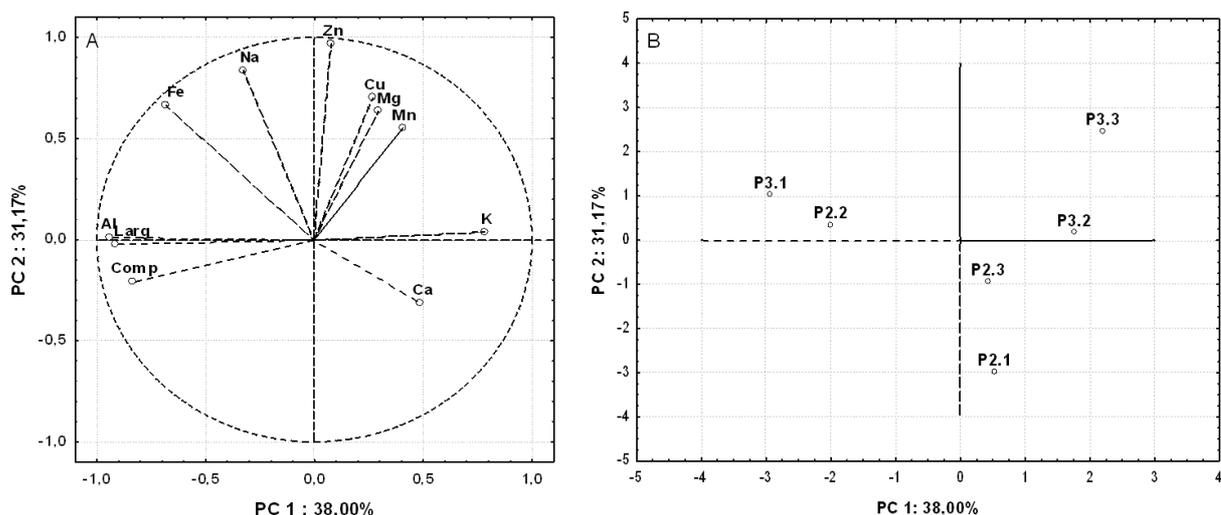


Figura 7: Análise de componentes principais (ACP) entre as medidas biométricas e os elementos químicos avaliados nas folhas e *Rhizophora mangle* L. amostradas no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA. A- Gráfico de pesos das variáveis. B- Gráfico de escores das áreas de amostragem.

A partir destas análises verificou-se que, em detrimento da maior concentração de Mn nas folhas da espécie *R. mangle*, este elemento não apresentou influência nas medidas biométricas da mesma. Enquanto que, uma alta correlação ente os tores de Mn e o comprimento das folhas em *L. racemosa* ($r = 0,91$) foi observada (Tabela 3), além do peso bastante representativo deste elemento na Análise de

Componentes Principais (Figura 6A), sendo assim possível notar uma grande importância deste para o crescimento das folhas desta espécie.

É importante que seja referenciado que o Mn também está envolvido com o hormônio do crescimento (AIA), pois ajuda a controlar os níveis do mesmo (Malavolta et al., 1997). Em adição, em ambas as espécies estudadas ficaram demonstradas correlações entre este elemento e o Ca. Assim, tendo estas propriedades químicas semelhantes o Ca pode inibir a absorção e transporte do Mn e este também pode inibir o transporte de Ca (Malavolta et al., 1997). Isso pode estar ocasionando altas concentrações de Ca nas células, o que conseqüentemente pode estar provocando a formação grandes quantidades de drusas pela cristalização de oxalato de cálcio, como verificado nos cortes anatômicos. Tendo em vista que o oxalato de cálcio é conhecido como um produto extremamente tóxico do metabolismo da planta e a formação de cristais de cálcio, a partir do oxalato, poderia servir como forma de eliminação (Raven & Smith, 1976).

Tabela 5: Concentração dos elementos Na, K, Mg, Ca (g kg^{-1}) Al, Cu, Zn, Mn e Fe (kg g^{-1}) no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA e em outros manguezais do Brasil. M = Média; V = Variação de valores mínimos e máximos. Rh= *R. mangle*; Lg= *L. racemosa*

		Na	K	Mg	Ca	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Local	Fonte
Rh	M	8,7	0,7	6,3	3,8	87,5	6,6	6,4	248,0	191,9	Bahia (Salvador)	Este estudo
Rh	M	.	3,4	5,1	6,1	.	2,0	5,0	860,0	80,0	Bahia (Mucuri)	Cuzzuol e Campos
Rh	M	.	6,4	4,0	11,7	.	4,4	8,7	78,4	117,6	Bahia (Ilha de Pati)	Souza et al. (1996)
Rh	M	14,5	13,8	8,5	3,4	.	9,0	19,0	155,0	166,0	Região Sudeste	Lacerda et al. (1986)
Rh	V	.	7,13-9,15	4,5-18,6	12,3-44,1	.	8,0-16,3	0,5-39,7	57,5-248,3	20,9-230,0	Bahia (Baía de Aratu)	Leão et al (2008)
Lg	M	11,8	2,4	5,0	2,6	177,2	17,9	22,4	77,0	791,8	Bahia	Este estudo
Lg	M	.	3,3	3,8	5,1	.	2,0	14,0	98,0	589,2	Bahia (Mucuri)	Cuzzuol e Campos
Lg	M	.	5,8	4,6	13,8	.	5,4	16,5	24,8	120,8	Bahia (Ilha de Pati)	Souza et al. (1996)
Lg	M	12,0	13,5	7,1	2,4	.	10,0	26,0	49,0	219,0	Região Sudeste	Lacerda et al. (1986)
Lg	V	.	6,2-8,2	3,7-5,8	10,7-18,0	.	7,1-16,1	0,3-51,0	18,4-184,7	18,3-375,3	Bahia (Baía de Aratu)	Leão et al (2008)

A correlações entre os teores de Zn e o comprimento das folhas de *L. racemosa* está relacionada com a atividade efetiva deste elemento como co-fator de várias enzimas, envolvidos na respiração, fotossíntese, e na biossíntese de hormônios vegetais (Broadley et al., 2007), estando envolvido na síntese do triptofano, que por sua vez é precursor do AIA (hormônio vegetal de crescimento). Dessa forma, concentrações tóxicas de zinco podem se manifestar por modificações na morfologia foliar, na diminuição da área foliar seguida de cloroses e necroses e pode aparecer na planta um pigmento pardo-avermelhado, possivelmente um fenol (Malavolta et al. 1997; Hermle et al, 2007), como verificado na morfologia das espécies estudadas. Apesar da falta de correlação entre este elemento e os parâmetros biométricos em *R. mangle*, ficou demonstrado para esta espécie correlações entre este cátion e os elementos: Mg, Fe e Cu, sendo assim importante esclarecer que estes inibem a absorção de Zn (Malavolta et al., 2007).

Em espécies de manguezal, a concentração do K pode variar de 5 – 60 g Kg⁻¹ (Mello et al., 1985). A partir disto e da comparação estabelecida na Tabela 5 entre a composição química das espécies *R. mangle* e *L. racemosa* com outras áreas de manguezal, também impactadas por atividades antrópicas, a fim de melhor caracterizar a composição química destas espécies, pôde-se inferir que os teores encontrados para este elemento estão abaixo do limite normal de concentração. Dessa forma, é importante esclarecer que a correlação entre K e Ca, verificada na espécie *R. mangle*, pode ser explicada pelo processo de absorção de K⁺ pelas raízes da planta, que é ativo e que pode atingir seu máximo na presença de Ca²⁺ no meio, ou ser inibido com o excesso deste (Malavolta et al., 2007) e, assim, influenciar diretamente para a diminuição da concentração de K nas folhas. Dessa

forma, um aumento na concentração de Ca nas folhas pode estar provocando uma redução na entrada de K nas células.

O potássio se apresenta como fator determinante das características biométricas neste estudo. Ele possui importante papel nos tecidos condutores e sua deficiência pode levar à presença de cloroses e necroses, também verificadas em ambas as espécies em todas as estações. Fisiologicamente, o K funciona em processos osmóticos, na síntese de proteínas e na manutenção de sua estabilidade, na abertura e fechamento dos estômatos, na permeabilidade da membrana e no controle do pH (Malavolta et al., 1997). No caso do presente estudo este macronutriente apresentou-se correlacionado com o Zn e Fe na espécie *L. racemosa* (Figura 6A) e com o Cu na *R. mangle* (Figura 7A). Assim, sugere-se que estes elementos podem ter participação no metabolismo do K, sendo conhecido, por exemplo, que a absorção do Fe em plantas é influenciada, dentre outros elementos, pelo K (Malavolta et al., 2007).

Com isso, é importante relatar que, no geral, as concentrações encontradas nas folhas dos vegetais estudados em Passa Vaca não destoaram das demais áreas avaliadas, com exceção para os teores de K nas folhas de *R. mangle* que, além das concentrações abaixo do referenciado por Melo et al. (1985), foram mais baixas que as encontradas nos manguezais referenciados na Tabela 5.

Em decorrência do ambiente salino do ecossistema de manguezal, o Na tende a ter maior predomínio nas folhas das espécies estudadas (Tabela 5).

Em *R. mangle* os teores de Al apresentaram correlação máxima com a largura e forte correlação com o comprimento das folhas (Tabela 3), tendo todos grande importância para a análise, sendo o fator de coordenadas das variáveis igual a -0,94 para o Al; -0,92 para a largura; e 0,84 para o comprimento, o que também pode ser

observado pelo gráfico de pesos das variáveis na Figura 7A. Além disso, o Al também apresentou correlação com o comprimento das folhas de *L. racemosa*. Com isso, torna-se possível inferir que o Al está diretamente relacionado com o crescimento das folhas nos espécimes estudados. É importante destacar que, na parte aérea da planta, a toxidez do Al é caracterizada por sintomas semelhantes aos de deficiência nutricional, notadamente fósforo, cálcio e potássio, uma vez que, o Al está implicado na redução da disponibilidade e absorção de P do solo, e também na inibição competitiva da absorção de alguns nutrientes catiônicos e micronutrientes (Faquim, 2005), confirmando as correlações encontradas neste trabalho do Al com K, Cu e Fe.

Não foi possível estabelecer uma tendência intra e interespecífica em relação às estações de amostragem (Figuras 6B e 7B), uma vez que, diferenças quanto à constituição química foliar podem ocorrer entre as plantas dos diferentes e/ou mesmos tipos de ecossistemas (Orians et al., 1995). Além disso, os teores de nutrientes presentes em tecidos vegetais de plantas de manguezal variam bastante entre indivíduos do mesmo gênero e até mesmo espécie. Fato que pode ser observado na Tabela 2, por meio da qual verificou-se que as concentrações dos elementos avaliados no presente estudo variaram entre as estações de amostragem e entre as espécies estudadas. Isto pode estar relacionado, dentre outros fatores, com os mecanismos fisiológicos de cada espécie, incluindo possíveis adaptações ao meio em que estão inseridas; bem como relacionado com a composição dos sedimentos e dinâmica das variáveis ambientais que operam no ecossistema.

A espécie *L. racemosa* apresentou proporcionalmente uma maior concentração de nutrientes em suas folhas do que *R. mangle* (Tabelas 2 e 5), com exceção para o elemento Mn, que apresentou as maiores concentrações nesta última, verificando-

se, assim, uma incorporação preferencial deste elemento por esta espécie, enquanto que o Fe foi preferencialmente absorvido por *L. racemosa*. Dessa forma, a maior concentração da maioria metais nas folhas de *L. racemosa* está relacionado aos diferentes mecanismos de controle de entrada de sal apresentados pelas espécies, o mecanismo de controle de entrada de sal pode afetar a absorção de metais pesados (Lacerda et al., 1985). Assim, *Rhizophora* por ser um gênero sal-excludente evitaria a entrada de elementos químicos como Fe, Zn e Cu, causando menor concentração destes elementos no tecido foliar, como observado neste estudo (Tabela 2) em detrimento do gênero *Laguncularia* que é considerado sal-includente e, portanto, não possui essa propriedade (Lacerda et al., 1985; Bernini et al., 2006). Esta espécie, por sua vez, concentra sais em suas folhas que serão posteriormente eliminados por meio de glândulas de sal, como demonstrado pela anatomia foliar.

Porém, no geral, muitos estudos destacam que a vegetação de manguezal cria uma "barreira" física na superfície das raízes, conhecidas como placas de ferro, sendo possível citar: Lacerda et al. (1993); Mendelsohn et al. (1995); Machado et al. (2002) e Pi et al. (2011). Estas placas são formadas porque as espécies de manguezal são capazes de oxidar suas rizosferas, fazendo com que a solubilidade de metais como Fe e Mn diminuam e os sulfetos, que são normalmente precipitados nas condições do manguezal, são rapidamente oxidados a sulfato, diminuindo significativamente a toxicidade dessas substâncias através da imobilização e co-precipitação de metais traço. Entretanto, a exceção está justamente no elemento Mn, que foi encontrado em maiores concentrações na espécie *R. mangle*, pois este não forma sulfetos estáveis, sendo solúvel nas condições anóxicas do sedimento do manguezal, e, portanto mais biodisponível (Lacerda et al. 1988).

4. CONCLUSÕES

A composição química e morfologia das folhas, no geral, não diferiram de outros estudos em áreas de manguezal também impactadas por atividades antrópicas.

Entretanto, os resultados descritos neste estudo demonstraram que a composição química das folhas reflete diretamente na morfologia, e conseqüentemente na fisiologia das plantas. Juntos estes fatores tornaram-se determinantes para o desenvolvimento das espécies de manguezal avaliadas no estuário do rio Passa Vaca. Assim, foi observado que os elementos: Zn, Mn, K e Al, influenciam para o desenvolvimento das folhas de *L. racemosa*; e os cátions: Al, Fe e K para espécie *R. mangle*.

Ficaram demonstradas também diferenças interespecíficas quanto à absorção de nutrientes pelas espécies estudadas, observando-se que o elemento Mn foi absorvido em maiores concentrações por *R. mangle*, enquanto em *L. racemosa* o Fe se concentrou mais nas folhas.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Auxílio à Pesquisa de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora. Ao Programa de Pós-graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e ao Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/ UFBA) pelo apoio científico e financeiro a realização das análises químicas e à União Metropolitana para o Desenvolvimento da Educação e Cultura (UNIME) pelo apoio nas análises anatômicas.

6. REFERÊNCIAS

- Almeida, R. A. 2009. A degradação ambiental em áreas de preservação permanente da bacia do rio Passa Vaca (Salvador-BA). In Ingá. Gestão de recursos hídricos. 1ªed. Salvador, Ingá, série Águas da Bahia 3: 157-166pp.
- Alves, E.S. 2001. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. Revista Brasileira de Botânica. 24 (4): 567-576.
- Araújo, B.R.N. 2000. Diagnóstico Geoambiental de Zonas de Manguezal do Estuário do Rio Itanhém, Município de Alcobaça – Região do Estremo Sul do Estado da Bahia. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia. 159p.
- Astm. American Society for Testing and Materials. 1992. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments 11 (02).
- Arduim, M. & Kraus, J. E. 2001 Anatomia de galhas de ambrósia em folhas de *Baccharis concinna* e *Baccharis dracunculifolia* (Asteracea). Revista brasileira de botânica. 24 (1): 63-72.
- Bernini, E.; Silva, M. A. B. da; Carmo, T. M. S. do & Cuzzuol, G. R. F. 2006. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Revista Brasileira de Botânica. 29 (4): 689-699.
- Blom, C. W. P. M. 1999. Adaptations to Flooding Stress: From Plant Community to Molecule. Plant biol. 1: 261-273.
- Broadley, M.R.; White, P.J.; Hammond, J.P.; Zelko, I. & Lux, A., 2007. Zinc in plants. New Phytol. 173: 677–702.
- Caetano, C. 2003. Manguezal do Rio Passa-Vaca: uma proposta de política pública em Salvador-BA. Edição do autor, Salvador, 144p.
- Cintron, G. & Schaeffer-Novelli, Y., 1983. Introducción a la Ecología del manglar. UNESCO, Montevideo, 190p.
- Cuzzuol, G. R. F. & Campos, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. Revista brasileira de Botânica 24 (2): 227-234.
- Faquim, V. 2005. Nutrição mineral de plantas. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância. Universidade Federal de Lavras – UFLA. 186p.
- Garcia, K. S.; Oliveira, O. M. C. & Araújo, B. R. N. 2008. Biogeoquímica de folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman na área norte da Baía de Todos os Santos. In Queiroz, A. F. S.; Celino, J. J. (Org.). Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos. 1ª edição. EDUFBA. (1). 213-232pp.

Gonçalves, M. V. P. 2010. Análises de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairú- Bahia. Tese de Mestrado. Universidade Católica do Salvador – UCSAL. 144p.

Hermle, S.; Vollenweider, P.; Güntardt-Goerg, M.S.; Mcquattie, C.J. & Matyssek, R., 2007. Leaf responsiveness of *Populus tremula* and *Salix viminalis* to soil contaminated with heavy metals and acidic rainwater. *Tree Physiol.* 27: 1517–1531.

Holdaway-Clarke, T.L.; Weddle, N.M.; Kim, S.; Robia, A.; Parris, C.; Kunkel, J.G. & Hepler, P.K. 2003. Effect of extracellular calcium, pH and borate on growth oscillations in *Lilium formosanum* pollen tubes. *Journal of Experimental Botany.* 54: 65-72.

Ignácio, G.M.; Domingues, D.; Kotler, L.; Lana, P.C. & Carrilho, J.C. 2005. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da baía de Paranaguá (Paraná – Brasil). *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 9 (2):1-4.

Jimenez, J.A. 1985. *Rizophora mangle*: red mangrove. Institute of Tropical Forestry. UNESCO, Rio Piedras, 7p.

Jimenez, J.A. 1988. *Laguncularia racemosa*: white mangrove. Institute of Tropical Forestry. UNESCO, Rio Piedras, 4p.

Kraus, J.E. & Arduin, M. 1997. Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal. Seropédia, Edur., Rio de Janeiro, 198p.

Lacerda, L.D.; Rezende, C.E.; José, D.V.; Wasserman, J.C. & Francisco, M.C. 1985. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. *Biotropica* 17:260-262.

Lacerda, L.D.; Martinelli, L.A.; Rezende, C.E.; Mozetto, A.A., Ovalle; A.R.C., Victoria, R.L.; Silva, C.A.R. & Nogueira, F.B. 1988. The fate of trace metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. *Science Total Environment* 75:249-259.

Lacerda, L.D.; Carvalho, C.E.V.; Tanizaki, K.F.; Ovalle, A.R.C. & Rezende, C.E. 1993. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres. *Biotropica* 25:252-257.

Lacerda, L.D. 2003. Os manguezais do Brasil. In: Vannucci, M. Os manguezais e nós. Editora da USP, São Paulo, 193-205pp.

Lamberti. 1969. A. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhém. *Boletim de Botânica.* 137 (23): 127p

Lugo, A.E. & Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematic.* 5: 39-64.

Malavolta, E.; Vitti, G.C. & Oliveira, S.A. de. 1997. Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª Edição. POTAFOS, Piracicaba, SP, 319p.

Machado, W.; Moscatelli, M.; Rezende, L. G. & Lacerda L. D. 2002. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*.120: 455-461.

Mello, F. de A.F de; Brasil Sobrinho, M. de O.C. do & Arzolla, S. 1985. Fertilidade do solo. 3ª Edição. Editora Nobel, São Paulo:. 400p.

Mendelssohn, I.A.; Kleiss, B.A. & Wakeley, J.S., 1995. Factors controlling the formation of oxidized root channels—a review. *Wetlands*. 15: 37–46.

Messerli, M.A; Creton, R.; Jaffe, L.F.; Robinson, K.R. 2000. Periodic Increases in elongation rate precede increase in cytosolic Ca^{2+} during pollen tube growth . *Developmental Biology*. 222: 84-98.

Metcalf, C.R. & Chalk, L. 2004. *Anatomy of the Dicotyledons*. 2ª Edição. Oxford, Clarendon. 3: 82-97pp.

Orians, G.H., Dirzo, R.; Cushman, J.H.; Medina, E. & Wright, J.S. 1995. Tropical forests. *In* Heywood, V.H. (Ed.) *Global biodiversity assessment. Biodiversity and ecosystem function: ecosystem analyses*. Cambridge University Press, Cambridge. 339-345pp.

Pi, N.; Tam, N.F.Y. & Wong, M.H. 2011. Formation of iron plaque on mangrove roots receiving wastewater and its role in immobilization of wastewater-borne pollutants. *Marine Pollution Bulletin*. 1:1-10.

Raven, J.A. & Smith, F.A. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytol*. 76: 415-431.

Rodrigues, K. M. R. 2005. Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia Tese de Mestrado. Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia. 168p.

Schaeffer-Novelli, Y. e Citrón-Molero, G. 1986. Guia para estudos em áreas de manguezal, estrutura, função e flora. *Caribbean Ecological Research*, São Paulo. 150p + 3 apêndices.

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

Silva, J. N.; Martins, M. B. G.; Cavalheiro, A. J. 2010 (a). Caracterização anatômica e perfil químico da lâmina foliar de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, de manguezais impactados e não impactados do litoral de São Paulo. *IHERINGIA, Sér. Bot.*, Porto Alegre. 65 (2): 123-132.

Silva, J. N.; Martins, M. B. G.; Cavalheiro, A. J. 2010 (b). Caracterização anatômica e perfis químicos de folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. *Ex moldenke E Rhizophora mangle* L. de manguezais impactados e não impactados do litoral paulista. *Insula*. 39: 14-33.

Siqueira, G. W.; Lima, W. N. de; Mendes, A. S.; Aprile, F. M.; Braga, E. de S.e Mahiques, M. M. de. 2004. Evolução do impacto ambiental causado por matéria orgânica, mercúrio e arsênio no sedimento de fundo do sistema estuarino de Santos. *Geochim. Brasil.* 18 (1): 54-63.

Souza, H. S.; Guedes, M. L. S.; De Oliveira, S. S & Santos, E. S. 1996. Alguns aspectos fitossociológicos na Ilha de Pati- Bahia- Brasil. *Sitientibus* 15: 151-156.

Sugiyama, M. 1995. A flora do manguezal. In: Schaeffer-Novelli, Y. (ed.) *Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar.* Caribbean Ecological Research., São Paulo, 17-21pp.

Tomlinson, P.B. 1986. *The botany of mangroves.* Cambridge University Press, 449p.

Torres, A.P.& Almeida, R.A. 2008. Esboço sócio-ambiental da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca, SSA-BA. *Geotextos.* 4: 37-51.

7 CONCLUSÕES

Diante do exposto, é possível inferir que o manguezal do estuário do rio Passa Vaca tem a *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn como espécie vegetal dominante e que este se encontra em estágio maduro de desenvolvimento, porém com provável alteração das suas características originais causadas principalmente pela urbanização da área.

Nos sedimentos foram encontradas concentrações de Cu e Fe acima do referenciado pela literatura em alguns pontos amostrados. Nas folhas a composição química e morfologia, no geral, não diferiram de outros estudos em áreas de manguezal também impactadas por atividades antrópicas, com exceção para as concentrações de K, que estiveram abaixo do referenciado pela literatura.

As concentrações dos metais nos sedimentos do estuário estudado são controladas pelas condições físicas e químicas do meio e ambos apresentam influências na estrutura da vegetação e na morfologia das folhas das espécies estudadas.

Assim, por meio de diversos testes estatísticos foi possível observar que: a alta razão molar C/N favorece o aumento da densidade de indivíduos; a temperatura pode ser limitante para a sobrevivência da vegetação; e as elevadas concentrações de Zn e Cu nos sedimentos estão diminuindo a capacidade de colonização da espécie *R. mangle* no estuário em questão.

Além disso, os resultados mostraram que a composição química das folhas é influenciada pela composição físico e química do substrato uma vez que, a absorção de nutrientes pelas plantas mostrou-se interdependente destas variáveis. Juntos estes fatores refletem diretamente na morfologia, e conseqüentemente na fisiologia das plantas, tornando-se determinantes para o desenvolvimento das espécies de manguezal avaliadas no estuário do rio Passa Vaca.

Neste estudo ficou confirmado a existência de diferenças interespecíficas quanto à absorção de nutrientes pelas espécies estudadas, observando-se que o elemento Mn foi absorvido em maiores concentrações por *R. mangle*, enquanto em *L. racemosa* o Fe se concentrou mais nas folhas.

Os parâmetros $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C / N permitiram caracterizar as fontes e destino da matéria orgânica no ecossistema estudado, tendo sido observado que nos

sedimentos do estuário do rio Passa Vaca, a vegetação terrestre fornece fração substancial da MO para a acumulação nos sedimentos.

Com isso, confirmou-se também que, apesar das correlações apresentadas entre os nutrientes nas folhas e no substrato, a vegetação do manguezal estudado funciona como uma eficiente barreira biogeoquímica no transporte de metais pesados para o próprio ecossistema e, conseqüentemente, para a zona costeira adjacente. Uma vez que a concentração destes elementos nas folhas foi reduzida em relação ao sedimento de manguezal, assim como observado em outros estudo similares.

Dessa forma, ficou demonstrado que a urbanização do estuário do rio Passa Vaca tem provocado mudanças nas suas características naturais, representando grandes prejuízos ecológicos para a zona costeira. Isso pode ser demonstrado por características evidenciadas nas transformações da matéria orgânica e também pela significativa retenção de metais pesados pela vegetação de manguezal estudada.

Em adição, sugere-se para estudos futuros no estuário do rio Passa Vaca: uma avaliação do material orgânico particulado e em suspensão, para a melhor caracterização da matéria orgânica do manguezal; um estudo biogeoquímico envolvendo a fauna; o estudo da serapilheira do bosque, para complementar os dados estruturais; e a avaliação de hidrocarbonetos nas diferentes matrizes, em função da proximidade deste ecossistema a um posto de gasolina.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. A degradação ambiental em áreas de preservação permanente da bacia do rio Passa Vaca (Salvador-BA). In INGÁ. **Gestão de recursos hídricos**. 1. ed. Salvador: Ingá, 2009, 164 p., p.157-166. (Série Águas da Bahia, v. 3)

ALVES, T.C.A. **Caracterização Geoquímica do Substrato Lamoso de Zonas de Manguezal da Baía de Aratu – Ba**. Salvador. 2002. 213f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e meio Ambiente)- Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2002.

ALONGI, D.M. **The energetics of mangrove forests**. London: Springer. 2009.

ANDREWS, J.E., GREENAWAY, A.M., DENNIS, P.F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbor, Jamaica. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 46, p.743-756, 1998.

ASPILA, K. I.; AGEMIAN, H.; CHAU, A. S. Y. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. **Analyst**, v.101, p.187-197, 1976.

ARAÚJO, B.R.N. **Diagnóstico Geoambiental de Zonas de Manguezal do Estuário do Rio Itanhém, Município de Alcobaça – Região do Extremo Sul do Estado da Bahia**. Salvador, 2000. 159f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2000. Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Queiroz.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments**, v.11, n.2, 1992.

AURDIN, M. e KRAUS, J. E. Anatomia de galhas de ambrósia em folhas de *Baccharis concinna* e *Baccharis dracunculifolia* (Asteracea). **Revista brasileira de botânica**, São Paulo, v.24, n.1, p.63-72. 2001.

BAHIA. Governo do Estado da Bahia, Secretaria de Indústria e Comércio, Coordenação de Fomento ao Turismo. **Plano Diretor da Orla Marítima**. Salvador, 1974.

BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L; PROGENE, M. DO P. S. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v.38, n.3, p.473-482, 2008.

BAUER, J. E.; DRUFFEL, E.R.M.; WOLGAST, D.M; GRIFFIN, S. Temporal and regional variability in sources and cycling of DOC and POC in the northwest Atlantic continental shelf and slope, Deep-Sea Research. Part 2. **Topical Studies in Oceanography**, v.49, n.20, p.4387–4419, 2002.

BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p.491-502, 2004.

BERNINI, E.; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do e CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.4, p.689-699, 2006.

BEZERRA, P. S. S.; TAKIYAMA, L. R.; BEZERRA, C. W B. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazônica**, v.39, n.3, p. 639–648, 2009.

BLOM, C. W. P. M. Adaptations to Flooding Stress: From Plant Community to Molecule. **Plant biol.**, New York, v.1, p.261-273, 1999.

BORDOVSKIY, O. K. Accumulation of organic matter in bottom sediments. **Marine Geology**, v.3, p.33-82, 1965.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P.; COELHO JÚNIOR, L. M. Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das APP nas zonas costeiras – restingas, dunas e manguezais. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p.39-56, 2009.

BOUILLON, S. ; CONNOLLY, R.M. ; LEE, S.Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. **Journal of Sea Research**, v.59, p.44–58, 2008.

BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytol**, v.173, p.677–702. 2007.

CAETANO, C. **Manguezal do Rio Passa-Vaca: uma proposta de política pública em Salvador-BA**. Salvador: Edição do autor, 2003, 144 p.

CARREIRA, R.; WAGNER, A. de L. R.; FELEMAN, T. e READMAN, J. W. Distribuição de coprostanol (5β (H)-Colestano- 3β -OL) e sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: indicador da poluição recente por esgotos domésticos. **Química Nova**, v.24, n.1, p.37-42, 2001.

CETESB. **Sistema estuarino de Santos e São Vicente**. São Paulo: CETESB, 2001.

CIFUENTES, L. A.; COFFIN, R. B.; SOLORZANO, L.; CANDENAS, W.; ESPINOZA, J.; TWILLEY, R. R. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.43, p.781-800, 1996.

CITRÓN, G.; LUGO, A.E.; MARTINEZ, R. Structural and functional properties of mangrove forests. In: Symposium Signaling the Complexion of the Flora of Panama, 1980, Panama. In: **Anais Symposium Signaling the Complexion of the Flora of Panama**. 1980, Panama: University of Panama. p.53-67, 1980.

CLOERN, J.E.; CANUEL, E.A.; HARRIS, D. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. **Limnology and Oceanography**, v.47, p.713–729, 2002.

COLE, M.L.; VALIELA, I.; KROEGER, K.D.; TOMASKY, G.L.; CEBRIAN, J., WIGAND, C.; MCKINNEY, R.A.; GRADY, S.P.; DA SILVA, M.H.C. Assessment of a $\delta^{15}\text{N}$ isotopic method to indicate anthropogenic eutrophication in aquatic ecosystems. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p.124–132, 2004.

CONAMA. Conselho Nacional de meio ambiente. **Resolução CONAMA Nº420**. 2009.

COSTA, A. B. **Caracterização molecular e isotópica de material orgânico em sedimentos da Baía de Todos os Santos- BA**. 2006. 127f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador. 2006.

CRONA, B. I.; RONNBACK, P.; JIDDAWI, N.; OCHIEWO, J.; MAGHIMBI, S. e BANDEIRA, S. Murky water: Analyzing risk perception and stakeholder vulnerability related to sewage impacts in mangroves of East Africa. **Global Environmental Change**, v.19, p.227–239, 2009.

CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista brasileira de Botânica**, v.24, n.2, p. 227-234, 2001.

DEGANO, C. A., M. Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. Et Arn.) DC. A la salinidad. **Revista brasileira de Botânica**, São Paulo, v.22, n.3, p.357-363, dez. 1999.

DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G.; LARA, R.J. Mangroves, a major source of dissolved matter sources to the oceans. **Global Biogeochemical Cycles**, v.20, GB1012, 2006.

DITTMAR, T.; LARA, R.J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River: Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology Progress Series**, v.213, p.67–77, 2001.

DUKE, N. C.; ALLEN, J. A. *Rhizophora mangle*, *R. samoensis*, *R. racemosa*, *R. harrisonii* (Atlantic–East Pacific red mangrove). In: **Traditional Trees of Pacific Islands - Their Culture, Environment, and Use**. Holualoa. Hawaii: Permanent Agriculture Resources, 2006. p.623-640. Disponível em <<http://www.agroforestry.net/tti/Rhizophora-AEP.pdf>> Acesso em: 10 jul.2010.

FITTER, A.H.; HAY, R.K.M. **Environmental physiology of plants**. Academic Press, Oxford. 1987, 423p.

FLORENTINE, C. Stable isotope analysis of sedimentary organic matter from bioluminescent Bays in Vieques, Puerto Rico, suggest a link between mangrove decay and bioluminescence. In: ANNUAL KECK SYMPOSIUM, 20, 2007, p. 143. Disponível em: <<http://keck.wooster.edu/publications>> Acesso em: 13 jul de 2011.

FREDRIKSEN, S., Food web studies in a Norwegian kelp forest based on stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analysis. **Marine Ecology Progress Series**, v. 260, p.71–81, 2003.

FRY, B.; SHERR, E.B. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. **Contributions in Marine Science**, v. 27, p.13–47, 1984.

FRY, B.; BERN, A.L.; ROSS, M.S. & MEEDER, J.F. $\delta^{15}\text{N}$ studies of nitrogen use by the red mangrove, *Rhizophora mangle* L. in South Florida. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 50, p.291-296, 2000.

FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186f. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização a Distância) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GAMERO, R, N, P. **Mineralogia, físico-química e classificação de solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertiooga (Santos, SP)**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 2001.

GARCIA, K. S. **Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA**. 2005. Dissertação (Mestrado em geoquímica ambiental). Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia –UFBA, Salvador, BA. 2005. Orientadora: Profa. Dra. Olívia Maria Cordeiro de Oliveira.

GARCIA, K. S.; OLIVEIRA, O. M. C.; ARAÚJO, B. R. N. Biogeoquímica de folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman na área norte da Baía de Todos os Santos. In QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos**: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos. 1ª ed. Salvador: EDUFBA, n.1, 298 p., cap.11, 2008. p.213-232.

GONÇALVES, F.T.T. Controles Limnológicos sobre a Formação de rochas geradoras de petróleo lacustres: o exemplo da bacia de Camamu, Nordeste do Brasil. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 20, n.1, p.5-23, 2001.

GONÇALVES, M. V. P. **Análises de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairú- Bahia**. 2010. 144f. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental). Universidade Católica do Salvador – UCSAL, Salvador, BA. 2010.

GRASSHOFF, K.; EHRHAEDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, 2ed. Weinheim, Verlag Chemie. 1983.

HERMLE, S.; VOLLENWEIDER, P.; GÜNTARDT-GOERG, M.S., MCQUATTIE, C.J., MATYSSEK, R. Leaf responsiveness of *Populus tremula* and *Salix viminalis* to soil contaminated with heavy metals and acidic rainwater. **Tree Physiol**, v.27, p.1517–1531, 2007.

HOLDAWAY-CLARKE, T.L.; WEDDLE, N.M.; KIM, S.; ROBIA, A.; PARRIS, C.; KUNKEL, J.G. & HEPLER, P.K. Effect of extracellular calcium, pH and borate on growth oscillations in *Lilium formosanum* pollen tubes. **Journal of Experimental Botany**, v.54, p.65-72, 2003.

IGNÁCIO, G.M.; DOMINGUES, D.; KOTLER, L.; LANA, P.C. & CARRILHO, J.C. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da baía de Paranaguá (Paraná – Brasil). **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, v.9, n.2, p.1-4, 2005.

JESUS, H.C; COSTA, E. A; MENDONÇA, A.S.P.; et al. Distribuição de Metais Pesados em sedimentos do sistema estuário da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n.3, p.378-386, 2004.

JENNERJAHN, T.C.; ITTEKKOT, V. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. **Naturwissenschaften**, v. 89, p. 23–30, 2002.

JIMENEZ, J.A. ***Rizophora mangle***: red mangrove. Rio Piedras: Institute of Tropical Forestry; UNESCO, 1985. 7p.

JIMENEZ, J.A. ***Laguncularia racemosa***: white mangrove. Rio Piedras: Institute of Tropical Forestry; UNESCO, 1988. 4p.

KATHIRESAN K.; BINGHAM B.L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances In Marine Biology**, v. 40, p.81-251, 2001.

KÖPPEN, W.; GEISER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 192

KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. **Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal**. Seropédia, Rio de Janeiro: Edur, 1997, 198 p.

KRISTENSEN, E.; BOUILLON, S.; DITTMAR, T.; CYRIL M. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p.201-219, 2008.

KWAK, T.J., ZEDLER, J.B. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. **Oecologia**, v.110, n.2, p.262–277,1997.

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSÉ, D.V.; WASSERMAN, J.C.; FRANCISCO, M.C. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. **Biotropica**, v.17, p. 260-262. 1985.

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSÉ, D.V.; FRANCISCO, M.C. Metallic composition of leaves from the Southeastern Brazilian coast. **Revista Brasileira de Biologia**, v.46, p.395-399, 1986.

LACERDA, L.D.; MARTINELLI, L.A.; REZENDE, C.E.; MOZETTO, A.A.; OVALLE, A.R.C.; VICTORIA, R.L.; SILVA, C.A.R.; NOGUEIRA, F.B. The fate of trace metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. **Science Total Environment**, v.75, p.249-259, 1988.

LACERDA, L.D.; CARVALHO, C.E.V.; TANIZAKI, K.F.; OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rizospheres. **Biotropica**, v.25, p.252-257, 1993.

LACERDA, L. D. **Biogeoquímica de metais pesados e ecossistemas de manguezal**. 1994. 68f. Tese (Professor titular de Geoquímica)- Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1994.

LACERDA, L. D.; ITTEKKOT, V. e PATCHINEELAM, S. R. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: a comparison between *Rhizophora* and *Avicennia* soils in south-eastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.40, p.713-720, 1995.

LACERDA, L.D. Os manguezais do Brasil. In: VANNUCCI, M. **Os manguezais e nós**. São Paulo: Editora da USP, 2003.

LACERDA, L. D. Biogeoquímica de contaminantes no antropoceno. **Oecol. Bras.**, v. 11, n. 2, p. 297-301, 2007.

LAMBERTI, A. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhém. **Boletim de Botânica**, v. 137, n. 23, 127p., 1969.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 531p, 2000.

LELES, E. P.; FERNANDES, D. M. DA SILVA, J. I. C.; FUMES, L. A. A. Interação de doses de calcário e zinco nas características morfológicas e nos componentes de produção da mamoneira. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.3, p.501-509, 2010.

LEPOINT, G. ; FREDERICH, B. ; GOBERT, S. ; PARMENTIER, E. Isotopic ratios and elemental contents as indicators of seagrass C processing and sewage influence in a tropical macrotidal ecosystem (Madagascar, Mozambique Channel). **Scientia Marina**, v.72, n.1, p.109–117, 2008.

LOH, P.S.; REEVES, A.D.; HARVEY, S.M.; OVERNELL, J.; MILLER, A.E.J. The fate of terrestrial organic matter in two Scottish sea lochs. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.76, p.566–579, 2008.

LUGO, A.E. & SNEDAKLER, S.C. The ecology of mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematic**, v.5, p.39-64, 1974

MACHADO, W.; MOSCATELLI, M.; REZENDE, L. G.; LACERDA L. D. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. **Environmental Pollution**, v.120, p.455-461, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed., Piracicaba, SP: POTAFOS, 1997. 319p.

MARTINS, R.A.C.; BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Biometria foliar e herbivoria de espécies do manguezal do estuário do rio Itabapoana, divisa entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. In: Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de

Oceanografia, 2007.

MARTINS, P. T. A.; COUTO, E. C. G.; DELABIE, J. H. C. Fitossociologia e estrutura vegetal do Manguezal do rio Cururupe (Ilhéus, Bahia, Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**. 2011. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-223_Martins.pdf> Acesso em: 15 jun. 2011.

MCCALLISTER, S.L.; BAUER, J.E.; CHERRIER, J.E.; DUCKLOW, H.W. Assessing sources and ages of organic matter supporting river and estuarine bacterial production: a multi-isotope ($\delta^{14}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$) approach. **Limnology and Oceanography**, v.49, n.5, p.1687–1702, 2004.

MELLO, F. de A.F de; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C. do; ARZOLLA, S. et al. **Fertilidade do solo**. 3ª edição, São Paulo: Editora Nobel. 400p., 1985.

MELO, F. de A. F. **Fertilidade do solo**. 3.ed. São Paulo: Nobel. 1983.

MENDES FILHO, N. E. **Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA)**. 2009. 186f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba.

MENDELSSOHN, I.A.; KLEISS, B.A.; WAKELEY, J.S. Factors controlling the formation of oxidized root channels—a review. **Wetlands**, v.15, p.37–46, 1995.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**. 2ed. Oxford: Clarendon, v. 3, p.82-97, 2004.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanography, paleolimnologic and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v.27, p.213-250, 1997.

MENDELSSOHN, I.A.; KLEISS, B.A.; WAKELEY, J.S. Factors controlling the formation of oxidized root channels—a review. **Wetlands**, v.15, p.37–46, 1995.

MESSERLI, M.A; CRETON, R.; JAFFE, L.F.; ROBINSON, K.R.. Periodic Increases in elongation rate precede increase in cytosolic Ca^{2+} during pollen tube growth . **Developmental Biology**, v.222, p.84-98, 2000.

MÜLLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, Willey and Sons. 1974.

MUTCHLER, T.; DUNTON, K.H.; TOWNSEND-SMALL, A.; FREDRIKSEN, S.; RASSER, M.K. Isotopic and elemental indicators of nutrient sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico. **Estuarine Coastal and Shelf Sciences**, v.74, p.449–457, 2007.

MUZUKA, A. N.N; SHUNULA, J. P. Stable isotope compositions of organic carbon and nitrogen of two mangrove stands along the Tanzanian coastal zone. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.66, p.447-458, 2006.

NASCIMENTO F. G. A. **Desenvolvimento estrutural e padrão de zonação dos bosques de mangue no rio Ariquindá, Baía de Tamandaré, Pernambuco, Brasil.** 2007. 95f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

NETO, A. **Estudo geoquímico em sedimentos do trecho Oceano Atlântico de Salvador (BA) ao Cabo de São Tomé (RJ).** 2000. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

NOAA.1999. Screening Quick Reference Tables. **National Oceanic And Atmospheric Administration.** USA, Seattle.

ODUM, W.E.; JOHANNES, R.E. The response of mangrove to man-induced environmental stress. In: Wood, E.J.F. and Johannes, R.E. (eds.). **Tropical Marine Pollution.** Amsterdam: Elsevier Oceanography Series. 1975, p. 52-62.

OLIVEIRA, O.M.C. **Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu-BA.** 2000. 249f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ. 2000.

ONOFRE, C. R. DE E.; CELINO J. J.; NANO, R. M. W. QUEIROZ, A. F. de S. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 7, n.2, p.65-82, 2007.

ORIAN, G.H., DIRZO, R.; CUSHMAN, J.H.; MEDINA, E.; WRIGHT, J.S.. Tropical forests. In HEYWOOD (Ed.), V.H. Global biodiversity assessment. **Biodiversity and ecosystem function: ecosystem analyses.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995, p.339-345.

PARAGUAÇU, L. A. A.; Da SILVA, M. N. Caracterização fitossociológica do manguezal de Porto de Sauípe, Entre Rios, Bahia. **Diálogos & Ciência**, n. 12, p.1-12, 2010.

PI, N.; TAM, N.F.Y.; WONG, M.H. Formation of iron plaque on mangrove roots receiving wastewater and its role in immobilization of wastewater-borne pollutants. **Marine Pollution Bulletin**, v.1, p.1-10, 2011.

RAMOS, S. (Org.) **Manguezais da Bahia: breves considerações.** Ilhéus: UESC, 2002. 105p.

RAVEN, J.A.; SMITH, F.A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. **New Phytol**, v.76, p.415-431, 1976.

RODRIGUES, K. M. R. **Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia.** 2005. 168f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

RUTEMBERG, K. C.; GOÑI, M. A. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ in arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing

bulk sedimentary organic matter. **Mar. Geol.**, v.139, p.123-145, 1997.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4ª edição. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992.

SANTOS, E. S. **Aplicação de marcadores geoquímicos para a avaliação dos impactos das barragens nos sedimentos do estuário do Rio São Francisco**. 2007. 180f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

SANTOS, L.L. **Estrutura e serapilheira em um manguezal de Ilhéus, Bahia, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2009.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CITRÓN-MOLERO, G. **Guia para estudos em áreas de manguezal, estrutura, função e flora**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986. 150p + 3 apêndices.

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

SAVAGE, C. Tracing the influence of sewage nitrogen in a coastal ecosystem using stable nitrogen isotopes. **Ambio**, v.34, n.2, p.145–150, 2005.

SEMENSATO-JR, D. L.; ARAÚJO, G, C, L; FUNO, R, H, F; SATA-CRUZ, J; DIAS-BRITO, D. Metais e Não-Metais em Sedimentos de um Manguezal Não-Poluído, Ilha do Cardoso, Cananéia (SP). **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 2, p.25-31, 2007.

SILVA, C.A.R.; LACERDA, L.D.; OVALLE, A.R. and REZENDE, C.E. The dynamics of heavy metals through litterfall and decomposition in a red mangrove forest. **Mangroves and Salt Marshes**, v.2, p149–157, 1998.

SILVA, M. A. B.; BERNINI, E.; CARMO, T. M. S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 465-471, 2005.

SILVA, C.A.R; SILVA, A. P.; OLIVEIRA, S. R. Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. **Marine Chemistry**, v.99, p. 2-11, 2006.

SILVA, J. N.; MARTINS, M. B. G.; CAVALHEIRO, A. J. Caracterização anatômica e perfil químico da lâmina foliar de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, de manguezais impactados e não impactados do litoral de São Paulo. **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 65, n. 2, p. 123-132, 2010 (a).

SILVA, J. N.; MARTINS, M. B. G.; CAVALHEIRO, A. J. Caracterização anatômica e perfis químicos de folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. Ex moldenke E *Rhizophora mangle* L. de manguezais impactados e não impactados do litoral paulista. **Insula**, Florianópolis, n. 39, p. 14-33, 2010 (b).

SIQUEIRA, G. W.; LIMA, W. N. de; MENDES, A. S.; APRILE, F. M.; BRAGA, E. de S. e MAHIQUES, M. M. de. Evolução do impacto ambiental causado por matéria orgânica, mercúrio e arsênio no sedimento de fundo do sistema estuarino de Santos. **Geochim. Brasil.**, v.18, n.1, p. 54-63, 2004.

SOARES, M.L.G. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v.59, n.3, p. 503-515, 1999.

SOUZA, H. S.; GUEDES, M. L. S.; DE OLIVEIRA, S. S; SANTOS, E. S. Alguns aspectos fitossociológicos na Ilha de Pati- Bahia- Brasil. **Sitientibus**, v.15, p.151-156, 1996.

SUGIYAMA, M. A flora do manguezal. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. cap.4, p.17-21.

TOMLINSON, P.B. **The botany of mangroves**. Cambridge University Press. 1986. 449p.

TORRES, A.P.; ALMEIDA, R.A. Esboço sócio-ambiental da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca, SSA-BA. **Geotextos**, v.4, p.37-51, 2008.

TREMBLAY, L.B.; DITTMAR, T.; MARSHALL, A.G.; COOPER, W.J.; COOPER, W.T. Molecular characterization of dissolved organic matter in a North Brazilian mangrove porewater and mangrove-fringed estuaries by ultrahigh resolution Fourier Transform-Ion Cyclotron Resonance mass spectrometry and excitation/emission spectroscopy. **Marine Chemistry**, v.105, p.15–29, 2007.

WASEL, Y. **Biology of halophytes**. New York: Academic Press, 1972, 395p.

VANNUCCI, A., L. e REZENDE, M., H. **Anatomia vegetal: noções básicas**. Goiânia: Edição do autor, 2003. 190p.

VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X., L.; FERREIRA, T. O.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; MACIAS, F.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. T. Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos. . In: **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Recife, 2005.

VIEIRA, B. P; DIAS, D; HANAZAKI, N. Homogeneidade de Enalhe de Resíduos Sólidos em um Manguezal da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.11, n.1, p.21-30, 2011.

9 APÊNDICES

APÊNDICE A -

Parâmetros não conservativos mensurados no estuário do rio Passa Vaca, Salvador-BA. (pH, Eh, temperatura e salinidade no sedimento de superfície; e Oxigênio dissolvido (O.D.) nas águas superficiais).

	pH	Eh	Temperatura	O.D.	Salinidade
P1	7,12	8	27,4	6,9	0
P2	5,26	108	27,8	0,81	3
P3	4,97	125	28,1	4,2	1,2
P4	5,39	97	28,4	4	1,1
P5	5,71	81	29,8	3,8	1
P6	5,84	72	30	3,3	1
P7	6,45	36	30,3	4,1	0,8
P8	6,33	37	27,3	4,74	0
P9	6,2	48	27	3,84	0
P10	6,4	33	27,8	7,81	0,1
P11	5,33	105	27,8	3,79	0,2
P12	6,48	28	27,9	7,9	0
P13	5,59	82	28,5	4,6	0,1
P14	6,1	49	26,6	5,99	0,1
P15	5,54	83	28	6,23	0,1

APÊNDICE B –

Concentração dos elementos químicos (mg.kg⁻¹) avaliados no sedimentos do estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia.

	Fe	Zn	Cu	Mn	Al	Ca	Na	K	P
P1	4020,81	29,92	71,24	9,86	1353,8	19100,1	156,2	31,9	163,1
P2	7208,27	29,76	40,98	12,88	2250,4	5114,9	115,9	35,91	166,7
P3	10068,06	28,78	37,92	21,96	3389,8	790,8	141,1	33,2	285,8
P4	9440,95	13,95	17,74	11,99	3345,8	425,9	111,4	17,1	109,7
P5	1901,78	1,75	8,36	0,00	840,6	62,6	19,2	1,22	12,5
P6	19849,91	24,62	54,16	20,29	7940,0	1043,7	86,7	27,3	314,2
P7	34108,78	46,27	148,45	36,26	12210,7	723,5	108,8	43,15	775,0
P8	6171,26	53,76	94,08	14,62	1688,3	19672,0	143,1	43,00	166,3
P9	6335,30	36,59	26,76	10,00	2535,3	2525,4	82,4	39,9	77,3
P10	11470,5	18,6	15,2	17,9	3947,8	433,5	89,7	52,5	256,8
P11	4617,54	4,80	5,89	4,75	1270,9	531,8	65,8	34,1	27,4
P12	14991,82	12,36	16,27	12,90	4958,6	470,2	105,6	34,8	100,0
P13	27802,93	21,21	38,25	20,25	8904,0	698,0	68,0	46,23	124,7
P14	20251,57	23,46	44,62	26,73	4184,0	723,7	67,8	51,1	337,5
P15	27316,61	23,31	64,72	29,86	12054,4	817,9	39,3	57,8	196,1

APÊNDICE C -

Concentração dos elementos químicos (mg.kg^{-1}) avaliados nos folhas de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia.

	Cobre	Zinco	Manganês	Ferro	Magnésio	Cálcio	Alumínio	Sódio	Potássio
P1A1	19,3	29,1	78,9	371,0	6323,6	3830,1	112,04	9796,45	2381,83
P1A2	4,5	31,5	53,5	406,5	5628,6	2138,1	94,55	12241,37	4234,67
P2A1	15,3	26,2	44,4	416,6	4915,2	2194,9	149,93	10942,11	3451,50
P2A2	3,1	17,3	77,2	676,3	6259,3	7116,2	82,53	8540,3	2123,53
P4	8,3	23,3	56,2	529,4	4762,9	3440,9	101,09	8547,65	3615,60
P5	8,1	17,0	94,3	2119,4	6048,2	3316,5	4,90	2457,6	1900,6
P8A1	3,8	26,3	143,7	303,6	4982,3	3381,6	80,32	10430,8	4438,06
P8A2	16,0	23,5	51,5	326,4	4813,8	3060,1	98,61	13508,1	2664,34
P9A1	7,6	25,8	91,1	694,3	6189,2	6975,2	50,99	12591,0	1383,25
P9A2	4,4	13,1	62,4	238,0	6006,0	9444,6	38,21	12633,1	2341,43
P10A1	5,6	23,8	73,9	801,5	5645,4	4327,3	51,14	11062,3	2390,09
P10A2	4,1	21,4	86,4	1143,5	6469,0	610,7	37,74	12764,5	3296,78
P11	33,5	15,2	54,4	895,6	4994,8	2015,2	156,57	9093,83	3208,19
P12	15,0	13,3	90,1	1652,3	6813,1	3357,5	44,37	10096,3	2223,32
P13	28,7	20,3	62,6	925,7	5908,4	3927,9	20,70	14364,20	2521,95
P14A1	10,5	23,0	111,8	2080,6	6936,4	3908,9	70,20	10605,3	2531,73
P14A2	39,6	20,5	53,9	643,8	4449,8	2047,0	0,00	11113,9	3551,28
P15	21,3	32,8	166,4	2043,3	5990,5	2829,6	31,64	9819,89	3764,38

APÊNDICE D –

Concentração dos elementos químicos (mg.kg^{-1}) avaliados nos folhas de *Rhizophora mangle* L. no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, Bahia.

	Cobre	Zinco	Manganês	Ferro	Magnésio	Cálcio	Alumínio	Sódio	Potássio
P3	2,25	9,16	288,27	157,61	6005,07	7172,94	10,90	0,00	1741,05
P4	1,96	10,13	130,07	157,11	6059,21	4239,49	18,70	7391,85	1731,30
P5	3,45	8,72	219,54	196,41	11750,57	3734,88	98,83	9125,4	1799,34
P6	5,31	10,49	184,89	209,08	7526,80	2646,82	35,48	8873,79	1412,87
P7	5,47	8,54	217,83	177,41	6121,65	3040,88	93,63	10790,7	1085,92
P8	14,47	9,19	426,83	214,01	7448,68	4669,68	46,24	10307,5	1025,89
P11	6,05	9,25	251,09	131,50	6037,61	3549,10	10,10	7784,8	823,5
P12	0,74	8,50	173,17	115,02	6604,67	2684,13	5,20	10964,3	866,36
P13	8,79	7,99	238,87	104,78	5727,18	3513,57	10,80	8912,29	1419,62
P14	8,19	7,82	190,26	150,41	5822,32	3105,39	23,90	9577,67	1032,06

APÊNDICE E –

Granulometria, nitrogênio, Carbono Orgânico, razão molar C/N e isotópicas de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

	% Areia	% Silte	% Argila	mt% N (%)	$\delta^{15}\text{N}$	mt% C (%)	$\delta^{13}\text{C}$	C/N
P1	93,12%	6,78%	0,09%	0,07	5,1	1,03	-21,9	15
P2	83,99%	15,33%	0,68%	0,15	7,1	2,81	-27,0	19
P3	69,70%	28,25%	2,05%	0,12	5,4	2,04	-26,9	18
P4	67,97%	31,03%	1,00%	0,12	5,9	2,5	-27,5	18,9
P5	62,21%	36,24%	1,55%	0,10	7,5	2,00	-27,5	20
P6	32,15%	64,48%	3,37%	0,20	6,8	3,71	-27,8	19
P7	30,96%	65,99%	3,05%	0,20	7,8	3,15	-26,2	16
P8	28,79%	69,19%	2,01%	0,06	4,7	1,11	-25,8	17
P9	90,05%	9,49%	0,46%	0,10	6,4	1,94	-40,5	19
P10	80,82%	18,26%	0,92%	0,19	6,5	3,88	-27,8	20
P11	87,17%	12,42%	0,41%	0,11	5,9	2,12	-28,2	20
P12	83,29%	15,87%	0,84%	0,11	5,7	2,58	-28,0	23
P13	74,82%	18,05%	7,13%	0,13	5,3	2,46	-27,8	18
P14	40,87%	54,30%	4,83%	0,24	5,3	4,77	-27,6	20
P15	75,40%	23,09%	1,52%	0,17	5,9	3,19	-27,4	19

APÊNDICE F –

Alterações morfológicas quantificadas para a espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn em cada área (A) amostrada no estuário o rio Passa Vaca, Salvador, BA.

Área	Necrose inicial	Necrose avançada	Clorose	Perfuracao	Bordas revoluta	Mancha escura
A1.1	28	0	7	0	8	1
A1.2	21	1	0	3	29	0
A1.3	35	10	5	0	8	0
A2.1	28	13	1	0	2	0
A2.2	25	11	1	1	20	13
A2.3	28	16	4	10	0	14
A3.1	22	4	11	11	1	16
A3.2	28	2	9	7	0	14
A3.3	27	9	5	7	26	21

APÊNDICES G -

Alterações morfológicas quantificadas para a espécie *Rhizophora mangle* L. em cada área (A) amostrada no estuário o rio Passa Vaca, Salvador, BA.

Estacao	Necrose inicial	Necrose avançada	Perfuracao	Clorose	Mancha escura
A2.1	28	15	6	4	15
A2.2	28	9	13	10	23
A2.3	29	12	13	4	15
A3.1	25	10	13	4	17
A3.2	23	13	2	15	22
A3.3	25	8	5	4	19

APÊNDICE H -

Medidas biométricas das folhas da espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn em todas as áreas de amostragem no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA.

	A1		A2		A3	
	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura
1	11,57	4,4	9,07	3,37	11,47	3,97
2	11,03	3,47	10,4	4,47	10,9	3,43
3	9,97	3,3	9,47	3,5	9,6	3,67
4	12,97	3,4	8,9	3,13	9,87	3,57
5	10,5	3,83	11,57	4,2	11,33	3,67
6	9,7	3	12,5	4,9	8,47	3,23
7	10,47	3,5	11,73	5,5	11,6	3,47
8	11,57	4,27	9,23	3,27	10,93	3,9
9	10,57	3,9	11,17	5,17	9,7	3,67
10	11,8	3,1	11,03	4,07	10,8	3,97
11	12,93	4,4	10,83	4,53	9,13	3,53
12	11,6	3,5	10,53	4,47	11	3,93
13	10,03	3,07	9,97	4,43	11,57	3,83
14	10,03	3,2	10,17	3,63	12,6	5
15	11,83	4,1	10,53	3,83	11,13	3,87
16	9,8	3,67	9,1	3,03	8,43	2,63
17	9,8	2,93	9,03	3,8	9,5	3,1
18	9,43	2,93	8,97	3,7	10,63	3,47
19	12,77	3,9	9,27	2,87	8,43	3,5
20	10,43	3,83	8,47	3,83	9,7	3,27
21	10,4	4,17	9	3,23	8,97	3,07
22	10,93	3,57	7,87	4,33	8,67	3,43
23	11,23	4,07	10,03	3,83	8,5	3,47
24	10,47	4	9,3	4,07	9,27	2,63
25	10,13	3	10,37	4	9,47	3,17
26	12,07	5,23	10,4	4,27	8,9	2,97
27	9,6	2,27	10,3	4	11,13	4,2
28	11,3	3,57	8,17	5,73	11,33	4,63
29	9,23	2,73	11,47	5,33	10,47	3,7
30	9,63	4,03	11,1	4,53	9,53	3,3

APÊNDICE I –

Medidas biométricas das folhas da espécie *Rhizophora mangle* L. em todas as áreas de amostragem no estuário do rio Passa Vaca, Salvador, BA.

	P2		P3	
	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura
1	13,43	6,03	12,47	5,63
2	13,57	7,13	12,33	5,97
3	10,17	5,03	10,43	4,73
4	12,20	5,57	12,57	5,90
5	12,87	5,37	11,07	5,60
6	13,73	6,03	10,73	5,30
7	14,60	6,80	12,30	5,93
8	13,87	6,33	10,43	6,03
9	12,47	5,63	11,23	6,13
10	10,33	5,07	13,67	6,40
11	12,77	5,93	14,17	6,43
12	11,13	4,90	14,77	6,90
13	13,47	6,77	12,33	5,40
14	15,20	6,53	12,20	5,70
15	13,17	5,77	13,37	6,23
16	11,43	5,17	11,00	5,33
17	10,33	5,00	12,77	6,30
18	10,70	5,67	10,37	4,80
19	12,17	6,00	12,23	5,57
20	10,43	5,73	12,43	6,13
21	12,23	5,53	12,67	5,43
22	12,50	5,83	11,23	5,57
23	13,10	5,53	12,03	5,40
24	13,70	6,27	12,33	5,00
25	13,37	6,47	12,47	5,97
26	12,87	6,17	12,53	5,80
27	13,77	6,50	14,10	6,23
28	12,63	5,67	12,67	6,33
29	13,70	6,20	13,00	6,40
30	13,47	6,33	13,20	6,43