



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GERENCIAMENTO COSTEIRO



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Caracterização da contaminação metálica e adequação da  
*Spartina alterniflora* como espécie bioindicadora de  
contaminação no estuário da Lagoa dos Patos: base para a  
gestão ambiental do estuário**

Laura Lemons Moreira

Orientador: Paulo Roberto Martins Baisch

Rio Grande, março de 2012

**LAURA LEMONS MOREIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO METÁLICA E  
ADEQUAÇÃO DA *SPARTINA ALTERNIFLORA* COMO ESPÉCIE  
BIOINDICADORA DE CONTAMINAÇÃO NO ESTUÁRIO DA  
LAGOA DOS PATOS: BASE PARA A GESTÃO AMBIENTAL DO  
ESTUÁRIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre. Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro da Universidade Federal do Rio Grande.

Orientador Dr. Paulo Roberto Martins Baisch.

Rio Grande, março de 2012

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais e meu irmão que me deram suporte para que eu chegasse até aqui e realizasse esse trabalho, principalmente à minha mãe, que está sempre ao meu lado e me incentiva. Ao meu marido Renan, que sempre acredita em mim e me dá o apoio necessário em todos os momentos.

À CAPES pelo auxílio financeiro que me possibilitou cursar o mestrado e assim desenvolver este trabalho.

Ao meu orientador Paulo Baisch pela oportunidade da realização deste trabalho e aos professores Milton Asmus, Nicolai Mirlean e Júlio Wasserman por aceitarem participar da avaliação e assim colaborar para o aperfeiçoamento deste.

Aos colegas de laboratório por toda a ajuda, científica ou não, e pelos momentos de descontração e companheirismo. E principalmente à Elisa, pela ajuda fundamental nas análises.

Aos colegas de PPGC, companheiros de jornada que, juntamente com os professores do programa, auxiliaram no meu crescimento com as discussões sempre produtivas.

Aos amigos, família e todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram ou possibilitaram a realização deste trabalho. Muito obrigada!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
1. Introdução .....	3
2. Objetivos .....	10
3. Materiais e Métodos .....	11
3.1. Amostragem.....	11
3.2. Análises químicas .....	14
3.3. Interpretação e tratamento dos resultados.....	17
4. Resultados e Discussão.....	18
4.1. Potencial Hidrogeniônico (pH) e Potencial Redox (Eh).....	18
4.2. Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total .....	19
4.3. Granulometria .....	23
4.4. Metais pesados nos sedimentos .....	24
4.5. Distribuição dos metais nos sedimentos da área de estudo .....	28
4.6. Metais pesados nas plantas .....	32
4.7. Distribuição dos metais na <i>S. alterniflora</i> na área de estudo.....	37
4.8. Matriz de correlação .....	43
4.9. Análise de Componentes Principais .....	45
4.10. Coeficiente de Distribuição .....	51
5. Considerações referentes à Gestão .....	54
6. Conclusão .....	56
7. Referências Bibliográficas .....	58
8. Anexos .....	65

## Lista de Figuras

Figura 1. Localização do Estuário da Lagoa dos Patos. ....	7
Figura 2. Mapa da área de estudo mostrando as principais fontes de contaminantes para a região. Fonte: VANZ et al., 2003. ....	8
Figura 3. Mapa da área de estudo com as regiões e pontos amostrados.....	12
Figura 4. Coleta de <i>Spartina alterniflora</i> . ....	13
Figura 5. Valores de COT (%) nos 22 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta. ....	20
Figura 6. Valores de N nos 21 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta.....	21
Figura 7. Valores de P (ppm) nos 21 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta. ....	22
Figura 8. Diagrama triangular de classificação granulométrica (SHEPARD, 1954) dos valores médios dos sedimentos superficiais. ....	23
Figura 9. Valores médios para metais analisados (média + erro padrão). Primeira coleta. ....	25
Figura 10. Valores médios para metais analisados (média + erro padrão). Segunda coleta.....	26
Figura 11. Mapa de distribuição de arsênio (esquerda) e cobre (direita) nos sedimentos da área de estudo.....	29
Figura 12. Mapa de distribuição de chumbo (esquerda) e mercúrio (direita) nos sedimentos da área de estudo.....	30
Figura 13. Mapa de distribuição de cádmio (esquerda) e cromo (direita) nos sedimentos da área de estudo.....	31
Figura 14. Mapa de distribuição de níquel (esquerda) e zinco (direita) nos sedimentos da área de estudo. ....	32
Figura 15. Valores médios encontrados de cada metal para Folha, Talo e Raiz da <i>S. alterniflora</i> . Valores em mg/kg.....	33
Figura 16. Porcentagem de ocorrência dos elementos metálicos nas Folhas, Talos e Raízes de <i>Spartina alterniflora</i> .....	34
Figura 17. Valores médios de metais nas plantas, em mg/kg, nas duas coletas.....	35
Figura 18. Mapa de distribuição de arsênio nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	38

Figura 19. Mapa de distribuição de chumbo nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	38
Figura 20. Mapa de distribuição de cromo nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	39
Figura 21. Mapa de distribuição de cádmio nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	40
Figura 22. Mapa de distribuição de cobre nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	41
Figura 23. Mapa de distribuição de níquel nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	41
Figura 24. Mapa de distribuição de mercúrio nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	42
Figura 25. Mapa de distribuição de zinco nas raízes, talos e folhas de <i>S. alterniflora</i> na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta. ....	43
Figura 26. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.....	47
Figura 27. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.....	49
Figura 28. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.....	50

## RESUMO

A Zona Costeira brasileira é composta por significativa diversidade de ambientes, muitos deles extremamente frágeis, com acentuado processo de degradação. Dentre os efeitos antrópicos estão a atividade portuária, petrolífera, química, aquicultura, agricultura e pecuária, pesca, turismo e desenvolvimento urbano. A região estuarina da Lagoa dos Patos encontra-se entre centros urbanos e industriais do sul do Rio Grande do Sul, e tem suas margens recobertas por plantas de marisma, entre elas a *Spartina alterniflora*. Nesse trabalho foram analisadas amostras de sedimentos, folhas, talos e raízes de *S. alterniflora* de 21 pontos do estuário da Lagoa dos Patos, com o objetivo de caracterizar a contaminação metálica em pontos do sistema a fim de estabelecer o uso da *Spartina* como espécie bioindicadora de contaminação, como subsídio à orientação e aplicação de planos de monitoramento e de gerenciamento ambiental na região. Os sedimentos foram caracterizados, em sua maioria, como redutores, com caráter neutro a fracamente ácido, arenosos e com altos níveis de carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total. Nos sedimentos, a variação dos metais, em mg/kg, foi de 10 a 222 para Cu, 12 a 769 para Pb, 3 a 28 para Ni, 5 a 38 para Cr, 32 a 266 para Zn, 1 a 23 para As e de 0,01 a 0,14 para Hg. Nas plantas, os maiores valores foram detectados nas raízes, com valores médios, em mg/kg, de 48 para Cu, 170 para Pb, 53 para Ni, 103 para Cr, 5 para As, 1,7 para Cd e 0,029 para Hg. Grande parte dos valores máximos encontrados em sedimentos e na *S. alterniflora* foram nos pontos localizados no Saco da Mangueira, região em que está localizado o Distrito Industrial da cidade de Rio Grande. Houve acumulação de metais nas folhas, talos e raízes de *S. alterniflora*, e o metal com as mais altas concentrações nas diferentes partes da planta foi o zinco. Há grande translocação de metais do sedimento para as raízes de *S. alterniflora*. Em relação as folhas, há grande acumulação dos elementos Cd, Pb, Hg e As, indicando que existem fontes atmosféricas destes metais na área de estudo. A caracterização deste ambiente é de extrema importância como conhecimento de base, para que, quando tomadas ações de gestão, os resultados destas possam ser avaliados, além de identificar locais menos poluídos e que devem ser preservados, uma vez que a área de estudo é uma região sob forte pressão da ocupação humana e atividades industriais, em plena expansão industrial e naval.

## ABSTRACT

The Brazilian Coastal Zone comprises significant environmental diversity, many of them extremely fragile, with a significant degradation process. Among the effects, the most important are anthropic port activities, oil, chemical, aquaculture, agriculture and livestock, fisheries, tourism and urban development. The estuarine region of Patos Lagoon is located between urban and industrial areas of southern Rio Grande do Sul, and have their margins covered with salt marsh stands, including the *Spartina alterniflora*. This study analyzed samples of sediment, leaves, stems and roots of *S. alterniflora* from 21 points in the estuary of Patos Lagoon, with the aim of characterizing the metal contamination in the system, in order to establish the use of *S. alterniflora* as a bioindicator of contamination, supporting the implementation of monitoring plans and environment management of the region. The sediments were characterized, mostly as a reducing, with a neutral to slightly acidic pH, sandy and with high levels of total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus. In the sediments, the variation of metals, in mg/kg, were 10 to 222 for Cu, 12 to 769 for Pb, 3 to 28 for Ni, 5 to 38 for Cr, 32 to 266 for Zn, 1 to 23 for As and 0.01 to 0.14 for Hg. In plants, the highest values were detected in roots, with mean values, in mg/kg, of 48 for Cu, 170 for Pb, 53 for Ni, 103 for Cr, 5 for As, 1.7 for Cd and 0.029 for Hg. Most of the maximum values found in sediments and in *S. alterniflora* were located at areas in "Saco da Mangueira", region that is located in the Industrial Zone of the Rio Grande city. There have been metal accumulation in leaves, stems and roots of *S. alterniflora*, and the metal with the highest concentrations in different parts of the plant was zinc. There is considerable metal translocation from sediment to the roots of *S. alterniflora*. Regarding the leaves, there is large accumulation of Cd, Pb, Hg and As, indicating that there are atmospheric sources of these metals in the study area. The characterization of this environment has great importance as a basic knowledge, in order that, when management actions are necessary, their results can be evaluated. In addition, identifying where less polluted sites needs to be preserved, as the study area is a region under strong pressure of human occupation and industrial activities, expanding industrial and naval activities.



## 1. Introdução

As zonas costeiras se caracterizam por concentrarem grande parte da população e desenvolvimento econômico mundial. Devido a fatores históricos relacionados à ocupação do território brasileiro e seguindo a tendência mundial da população em ocupar predominantemente áreas próximas ao litoral, no Brasil 26,6% da população mora em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2011). O saneamento básico ainda é precário no Brasil (no final da década de 1990, 80% da população urbana não tinha um sistema de esgoto, e 43% dos domicílios urbanos não tinham nem mesmo fossas sépticas), o que torna as metrópoles litorâneas as maiores fontes de poluição ambiental da costa (MMA, 2002). Além disso, a zona costeira também sofre impacto de atividades industriais e portuárias, tornando necessário caracterizar estes impactos e definir as áreas de maior importância biológica, como as áreas prioritárias para conservação.

A localização da zona costeira brasileira nas zonas intertropicais e subtropicais determina a presença de ambientes muito distintos de alta relevância ecológica e turística - recifes costeiros, manguezais, lagoas costeiras, restingas, marismas, praias e dunas (ASMUS & KITZMANN, 2004). Também nesse ambiente costeiro estão os estuários, regiões de importância ambiental e econômica, que apresentam características únicas que resultam em elevada produtividade biológica, o que os torna uma importante zona de alimentação para numerosas formas juvenis de peixes e crustáceos de relevância comercial, além de gerarem bens e serviços para as comunidades locais (BARBOSA, 2006). As margens dos estuários são, em geral, locais privilegiados para a implantação de atividades urbanas, industriais, portuárias, pesqueiras, de exploração mineral, turísticas, assim como para a prática de agricultura, o que conduz a uma pressão urbanística bastante acentuada. Associados a esta ocupação, a área envolvente do estuário é caracterizada pelo seu múltiplo uso e com isto, surgindo os impactos causados por atividades antrópicas que podem modificar as características originais destes ecossistemas (KENNISH, 1997). A região estuarina da Lagoa dos Patos encontra-se entre centros urbanos e industriais do sul do Rio Grande do Sul. O município de Rio Grande, às margens deste estuário, apresenta um terminal marítimo e um conjunto portuário, que é o terceiro em importância no Brasil com várias indústrias de médio e grande porte, representando um dos três maiores pólos de fertilizantes da América Latina, com produção de fertilizantes do tipo NPK (NEVES, 1980), atividades

estas responsáveis por um significativo impacto ambiental causado pelos contaminantes metálicos presentes em seus efluentes.

Diversas atividades humanas liberam elementos metálicos para o ambiente, os quais podem acumular nos segmentos dos sistemas aquáticos (JACKSON, 1992). Existem várias fontes de contaminação para áreas costeiras, entre elas podemos citar: entrada direta de efluentes industriais, lançamento de esgotos, despejos de resíduos de navios, aporte de material solúvel e particulado oriundo de rios, precipitação atmosférica, entre outros (SALOMONS & FORSTNER, 1984; FORSTNER, 1993).

Muitos estudos mostram a existência de uma considerável poluição por elementos metálicos e poluentes orgânicos em diversos segmentos ambientais (solos, sedimentos, águas, biota) no município de Rio Grande. Os elementos de maior preocupação ambiental em relação aos seus efeitos negativos à saúde das populações são o chumbo, o mercúrio e o arsênio, e em segundo plano o níquel, cromo, zinco, cobre e cádmio. Apesar de serem os mais importantes, esses diferentes contaminantes apresentam níveis de conhecimento diferentes, e em vários aspectos os estudos ambientais até o momento empreendidos são considerados parciais e, apesar de existirem diversos estudos evidenciando a problemática da contaminação por metais nos solos e sedimentos do município de Rio Grande, pouco se sabe sobre a incorporação destes metais pelas plantas, e a ciclagem destes metais para o sistema estuarino.

Em regiões consideradas impactadas os sedimentos são, em geral, o mais importante estoque de metais dos sistemas aquáticos. Muitos estudos têm utilizado os sedimentos de fundo como um compartimento de acumulação de poluentes e, portanto, propício para os monitoramentos ambientais, possibilitando ainda o conhecimento das principais fontes de poluição dentro do sistema aquático (MARQUES *et al.*, 2011). As principais fontes de metais para os sedimentos são efluentes domésticos e industriais, principalmente indústrias de fertilizantes e refino de petróleo, além da atividade portuária e “runoff” pluvial. Entre estes, pode-se destacar as indústrias de fertilizantes como fonte de Cd, Cr e As, principalmente e os efluentes cloacais como fonte de Zn, Cu, Pb e Hg.

A íntima relação de algumas gramíneas com os sedimentos de fundo e sua capacidade de acumular metais pesados, sugere uma atuação das mesmas no transporte de metais pesados da reserva sedimentar para as águas estuarinas. A absorção dos elementos metálicos pelas células, particularmente pelas raízes, é facilitada por mecanismos próprios de transporte e acumulação, pois vários metais são realmente

necessários às plantas como micronutrientes. No entanto, a planta não pode evitar a entrada de elementos tóxicos pelos mesmos mecanismos. Os metais exercem um efeito tóxico devido, principalmente, à sua interferência no transporte de elétrons no processo da respiração e da fotossíntese e na inativação de enzimas vitais (CONCEIÇÃO, 2005).

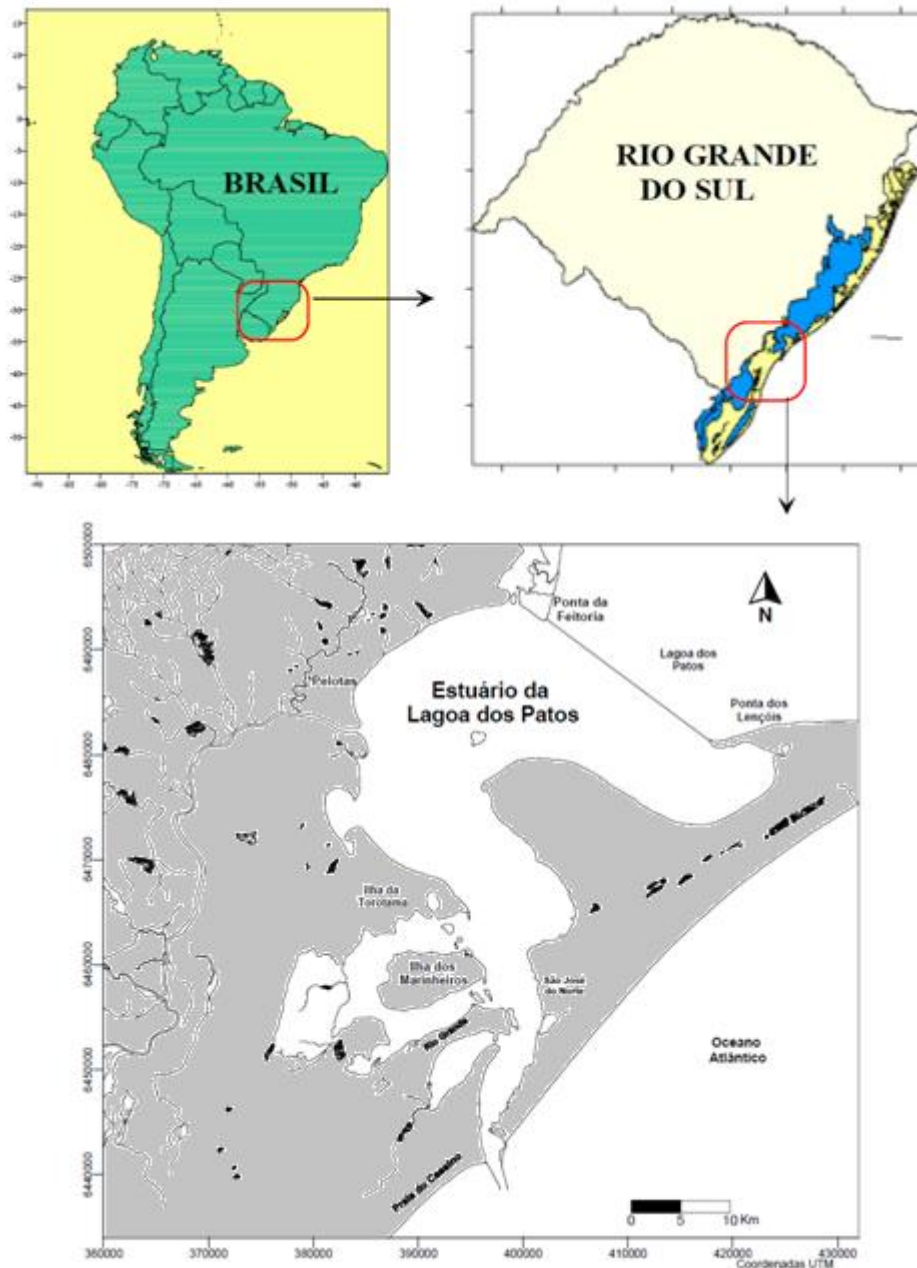
*Spartina alterniflora* é uma planta de áreas alagadas que já foi avaliada em estudos envolvendo os efeitos da acumulação de metais em seus tecidos (LACERDA *et al.*, 1997; MARINS *et al.*, 1997; MONTAGNOLLI, 1999) assim como o seu uso em projetos de fitorremediação e as diversas respostas da espécie aos contaminantes (PEZESHKI, 2000; MENDELSSOHN & LIN, 2003). Esta espécie é conhecida por acumular metais dos sedimentos e liberá-los para o ambiente. Quando as plantas absorvem e translocam metais em seus tecidos, estas podem agir como um canal para a circulação de metais tóxicos dos sedimentos para a cadeia alimentar dos estuários (KRAUS *et al.*, 1986 ; KRAUS, 1988; SANDERS & OSMAN, 1985). Uma parcela dos metais presentes nas folhas das plantas pode persistir nos detritos destas, que constituem uma base de importantes cadeias alimentares estuarinas (RAHN, 1973). LIMA *et al.* (1989) estudaram a potencialidade de *Spartina alterniflora* como uma fonte de metais pesados na cadeia alimentar da Baía de Sepetiba, Brasil, e mostraram que os valores de metais eram potencialmente disponíveis, principalmente no verão e no outono, quando a planta atinge o seu pico de produtividade. No entanto, dependendo do tecido ocupado pelo metal na planta, sua liberação para o meio será mais rápida ou mais demorada, o que é fundamental para a compreensão da dinâmica destes metais no meio. O estudo de CAÇADOR *et al.* (2000) sobre a variação sazonal de Zn, Pb, Cu e Cd em sedimentos do sistema radicular de *Spartina maritima* e no Estuário do Tagus, em Portugal, mostrou que a maior concentração de metais ocorreram nas raízes, com aumento dos níveis durante os períodos de crescimento. Os períodos de maior concentração na planta também foram os períodos de maior concentração de metais no sedimento, evidenciando que ambos apresentaram variações sazonais na concentração, e a acumulação de metais pela planta é intensificada quando há maior concentração destes no sedimento. LEE *et al.* (1981) avaliaram a capacidade de oito espécies vegetais para acumular metais pesados e este estudo mostrou que o crescimento de *Spartina alterniflora* foi afetado pela exposição a metais pesados e, portanto, esta pode servir como um bioindicador de contaminação por metais.

Apesar da importância do tema e dos trabalhos expostos, não se conhece ainda a extensão da participação destas plantas de marismas, entre elas a *Spartina alterniflora*,

na fixação e ciclagem de contaminantes metálicos no estuário da Lagoa dos Patos. Desta forma justifica-se a necessidade de dados relativos à concentração de metais no ambiente, com o intuito de avaliar a qualidade do ambiente e o potencial risco dos contaminantes para a saúde humana, uma vez que o conhecimento dos níveis de base da região passa a ser um componente fundamental para a gestão destes ambientes costeiros sob forte pressão da ocupação humana e das atividades industriais.

### **O estuário da Lagoa dos Patos**

A região estuarina da Lagoa dos Patos está localizada no sul da Zona Costeira do Brasil, no Rio Grande do Sul (Figura 1). Com uma área de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, a Lagoa dos Patos é reconhecida como a maior lagoa estrangulada do mundo, que se estende de 30°30'S a 32°12'S perto da cidade de Rio Grande, onde a lagoa se conecta ao Oceano Atlântico. A região estuarina compreende aproximadamente 10% da lagoa, e é ocupada por flora diversa e abundante fauna. Os recursos alimentares abundantes e proteção contra a predação fornecida aos cardumes estuarinos fazem desta região um viveiro ideal para diversas espécies de peixes comercialmente importantes. O estuário em si é caracterizado por um corpo de água superficial com temperatura e salinidade variável, dependendo das condições locais climáticas e hidrológicas (CASTELLO, 1985).



*Figura 1. Localização do Estuário da Lagoa dos Patos.*

Os dois principais ambientes estuarinos estão constituídos por baías costeiras rasas e protegidas, e pelo corpo de água central aberto e profundo do estuário. (BONILHA E ASMUS, 1994). As baías, chamadas localmente de “sacos”, exibem profundidade inferior a 5 m e fundos em geral arenosos (CALLIARI, 1998).

A Lagoa dos Patos e seus entornos, particularmente o estuário e águas adjacentes, destacam-se entre as regiões costeiras do Atlântico Sudoeste pela sua importância ecológica (zona de produção biológica e biodiversidade) e socioeconômica (atividades portuárias, industriais, agrícolas, pesqueiras e turísticas). O litoral sul abriga

um dos mais relevantes ecossistemas naturais do Estado, onde os banhados e as áreas úmidas associadas às lagoas e cursos d'água constituem aspecto dominante na paisagem. Esta região sofre o impacto do uso abusivo da agricultura e pecuária, além da atividade portuária e também industrial (PORTZ *et al.*, 2011), como pode ser visto na figura 2.

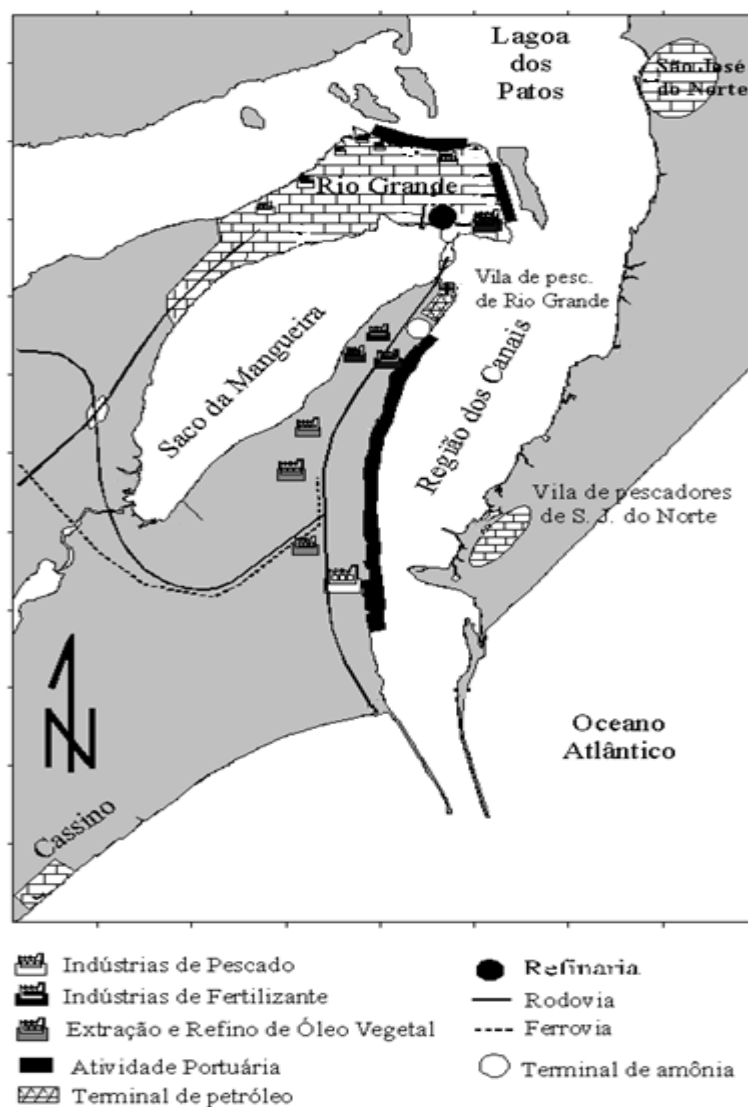


Figura 2. Mapa da área de estudo mostrando as principais fontes de contaminantes para a região. Fonte: VANZ *et al.*, 2003.

As margens desta região estuarina são recobertas por marismas, que são sistemas de produção entremarés, ocupadas por vegetação herbácea que beneficiam os estuários e águas costeiras pela alta capacidade de fixar carbono e pela exportação de parte significativa desta matéria orgânica, na forma de detrito, para águas adjacentes pelas marés e correntes, sustentando importantes recursos pesqueiros (ADAM, 1990; ABREU

*et al.*, 2006), e podem desempenhar um papel importante na manutenção do balanço de nutrientes na zona costeira (COSTA & MARANGONI, 2010).

Marismas são depósitos naturais de metais pesados no sistema estuarino (DOYLE & OTTE, 1997). Quando localizado perto de áreas poluídas, esses ecossistemas retêm grandes quantidades de poluentes a partir de resíduos industriais e urbanos (REBOREDA & CAÇADOR, 2007). A maioria das plantas de marismas acumulam grandes quantidades de metais em seus órgãos aéreos e subterrâneos (CAÇADOR *et al.*, 1996) e esta capacidade de fitoestabilizar os contaminantes nos ‘rizosedimentos’, é um aspecto importante nos processos de fitoremediação e biogeoquímica (WEIS & WEIS, 2004).

Uma importante espécie de marisma encontrada na região é a *Spartina alterniflora*, que apresenta-se como espécie dominante das porções meso-euhalinas freqüentemente alagadas do estuário. Esta é uma planta herbácea que apresenta variação sazonal da sua biomassa e produtividade, e sua decomposição tem importante papel na ciclagem de metais e para a macrofauna benthica existente (COPERTINO, *et al.*, 1997). Espécies de *Spartina* são potencialmente úteis para biomonitoramento de sistemas costeiros porque são abundantes na zona intertidal e tem ampla distribuição geográfica em zonas temperadas (PADINHA *et al.*, 2000).

## 2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi estudar e caracterizar a fixação de elementos metálicos em *Spartina alterniflora* a fim de estabelecer a utilização desta espécie como bioindicadora de contaminação metálica. Além disto, caracterizar a contaminação por metais em pontos do estuário da Lagoa dos Patos como subsídio à orientação e aplicação de planos de monitoramento e de gerenciamento ambiental na região.

### **Objetivos Específicos:**

- Analisar a acumulação dos metais (Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg e As) nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora*.
- Analisar a acumulação dos metais (Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg e As) nos sedimentos.
- Indicar a importância da informação gerada para subsidiar programas de monitoramento e gestão ambiental na região.



### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Amostragem

A região de estudo deste trabalho foi o estuário da Lagoa dos Patos, na cidade de Rio Grande e São José do Norte – RS. Para a realização deste trabalho foram selecionados 21 pontos abrangendo os mais importantes segmentos do sistema e da comunidade de *Spartina alterniflora* deste estuário. As estações foram divididas em 8 pontos na região do Saco da Mangueira, 5 pontos na região do Saco do Arraial e ilhas associadas (3 Ilha dos Marinheiros e 2 Ilha da Pólvora), 2 Ilha do Terrapleno, 3 pontos em São José do Norte, 2 pontos no Saco do Justino, 1 ponto na Barra de Rio Grande (tabela 1). Esta amostragem abrange a região portuária a industrial do estuário, e também regiões mais distantes destas fontes de poluição.

Tabela 1. Localização dos pontos amostrados.

<b>Ponto</b>	<b>Localização</b>
1	Saco da Mangueira
2	Saco da Mangueira
3	Barra
4	Saco da Mangueira
5	Saco da Mangueira
6	Saco da Mangueira
8	Saco do Justino
9	Saco do Justino
10	Ilha da Pólvora
11	Ilha da Pólvora
12	Ilha do Terrapleno
13	Ilha do Terrapleno
14	Saco da Mangueira
15	Saco da Mangueira
16	Saco da Mangueira
17	Ilha dos Marinheiros
18	Ilha dos Marinheiros
19	Ilha dos Marinheiros
20	São José do Norte
21	São José do Norte
22	São José do Norte



Figura 3. Mapa da área de estudo com as regiões e pontos amostrados.

Por se tratar de uma área que está sob influência do sistema climático subtropical com variações importantes entre estações, as coletas foram realizadas em dois períodos: final de inverno de 2010 (primeira coleta) e final de verão de 2011 (segunda coleta), períodos que representam os ciclos da vida da planta.

Em cada ponto foi coletada amostra de *S. alterniflora* com auxílio de pá de corte (figura 4), e esta armazenada em sacos plásticos. As amostras de sedimento foram coletadas junto à amostra da planta, na altura das raízes desta, com auxílio de trado de alumínio e armazenadas em potes de plástico.



*Figura 4. Coleta de Spartina alterniflora.*

Imediatamente após as coletas foram medidos os parâmetros do sedimento: pH, com pHmetro ( $\pm 0,01$  pH) com eletrodo combinado de vidro tipo baioneta, e Eh (potencial redox), medido pelo método potenciométrico ( $\pm 1$ mV) com o emprego de um eletrodo combinado de platina.

As amostras foram transportadas ao Laboratório de Oceanografia Geológica, onde se deu o início do trabalho de análise. As plantas foram lavadas com água para retirada de resíduos e de sedimentos aderidos às raízes e divididas em raiz, talo e folha. Após, os diferentes segmentos das plantas foram secos em estufa a 50°C. O material seco foi então triturado e mantido em frascos hermeticamente fechados e livres de contaminação para posterior análise química.

As amostras de sedimentos foram divididas em duas sub-amostras, sendo uma delas destinada as análises granulométricas e outra destinada às análises químicas. Os sedimentos destinados às análises químicas foram peneirados em malha de nylon de 63 $\mu$ m para retirada da fração grosseira, secos em estufa a 40°C, e então macerados em graal de ágata e armazenados em frascos de vidro.

As amostras de sedimento foram identificadas como P1 ao P22, na primeira coleta, e P1-2 ao P22-2 na segunda coleta. As amostras de plantas foram identificadas

como FP1 ao FP22 para folhas, TP1 ao TP22 para talo e RP1 ao RP22 para raízes, seguindo a mesma identificação dos sedimentos quanto às coletas.

### **3.2. Análises químicas**

#### **Sedimento**

As análises químicas nos sedimentos foram realizados na fração fina (<63 µm) dos mesmos.

#### Metais

Para a determinação dos metais utilizou-se o método 3050B da U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), a partir de 1g de amostra macerada. O ataque ácido para extração de metais consiste na adição de ácido nítrico 50% (HNO<sub>3</sub>) e ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub> conc.) a quente, além de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e ácido clorídrico concentrado (HCl).

A dosagem dos metais foi feita por espectrofotometria de absorção atômica por chama (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb) e por forno de grafite (Cd) com a utilização de espectrofotômetro marca Perkin Elmer modelo AA 800 (Zeeman effect).

#### Arsênio

Para análise de arsênio, foram utilizadas 100mg de amostra macerada, que foram digeridas com a adição de ácido nítrico 50% (HNO<sub>3</sub>) e ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>) a quente, e peróxido de hidrogênio.

A dosagem de arsênio foi feita por forno de grafite com a utilização de espectrofotômetro de marca Perkin Elmer modelo AA 800 (Zeeman effect).

#### Mercúrio

A digestão ácida para extração de mercúrio foi realizada em 1g de amostra macerada. Adicionou-se mistura de ácidos sulfúrico e nítrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+HNO<sub>3</sub>) 3:1 e, após, as amostras foram deixadas em repouso “overnight”. Após o repouso, estas foram aquecidas a 70°C, e adicionou-se dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

A dosagem de mercúrio foi feita por gerador de hidretos GBC modelo MC3000 com a utilização de um espectrofotômetro de absorção atômica GBC 932AA.

Os limites de detecção dos metais analisados nos equipamentos de absorção atômica utilizados neste trabalho são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Limites de detecção dos metais analisados, em mg/kg

<b>Metal</b>	<b>Limite de detecção</b>
Zn	0,8
Ni	1
Cu	0,5
As	0,5
Cd	0,1
Pb	0,5
Cr	0,2
Hg	0,01

#### Controle de qualidade analítica

As análises foram realizadas em triplicatas, sendo repetidas no caso de terem apresentado valores considerados não aceitáveis de desvio padrão standard (RSD).

Para o controle e monitoramento da qualidade analítica foram empregados sedimentos certificados de referência (PACS-1; PACS-2).

#### Carbono Orgânico Total (COT)

Para a determinação do carbono orgânico total seguiu-se o método descrito por STRICKLAND & PARSONS (1972) e modificado por GAUDETTE et.al. (1974). As análises foram realizadas em triplicata, na amostra macerada, através da adição de ácido fosfórico para a eliminação de carbonatos e aquecimento durante 30 min (100-110°C). Posteriormente adicionou-se uma solução oxidante ( $H_2SO_4/K_2Cr_2O_7$ ) e levou-se ao aquecimento durante 60 min. Após o resfriamento, a amostra foi diluída, acrescentou-se 6 gotas do indicador ferroína, então foi titulada com sulfato ferroso amoniacal (0,1 N).

#### Fósforo Total (P)

De acordo com o procedimento descrito por RUTTENBERG (1992), as amostras foram pesadas e calcinadas em mufla (500°C) durante 1 hora, a fim de eliminar a matéria orgânica. Após a mineralização, o sedimento foi digerido com solução de ácido clorídrico e agitado por 16 h, em seguida, filtrou-se a solução para retirar o material em suspensão. Após a filtragem, adicionou-se ácido ascórbico e molibdato de amônio para a formação de um complexo de fosfo-molibdato de cor

azulada, possibilitando a determinação da concentração por colorimetria em espectrofotômetro no comprimento de onda de 885 nm.

#### Nitrogênio Total (N)

Para a determinação do nitrogênio total foi usado o método Micro-Kjeldhal, segundo os procedimentos descritos em TEDESCO *et al.* (1995). Inicialmente, digeriu-se a amostra com ácido sulfúrico à 350°C para que todo o nitrogênio orgânico fosse convertido à forma amoniacal. Então se alcalinizou a mistura com hidróxido de sódio e toda a amônia pôde ser destilada com vapor d'água. O destilado alcalino foi recebido por uma solução de ácido bórico, a qual se titulou com ácido sulfúrico diluído.

#### Análise Granulométrica

A granulometria dos sedimentos foi determinada de acordo com o método clássico de peneiragem/pipetagem descritos em SUGUIO (1973). As amostras foram inicialmente lavadas, para retirada dos sais, secas em estufa a 60°C e quarteadas. Os sedimentos grosseiros (>0,063 mm) foram peneirados e os sedimentos finos (<0,063 mm) foram separados por decantação e pipetagem. Os resultados obtidos foram classificados em areia, silte e argila.

### **Material vegetal**

#### Metais

A extração de metais foi feita por meio da queima de 7g da amostra vegetal a 550°C por 1 hora e posterior adição de HCl concentrado a 80°C, também pelo mesmo período.

A dosagem dos metais foi feita por espectrofotometria de absorção atômica por chama (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb) ou por forno de grafite (Cd) com a utilização de espectrofotômetro marca Perkin Elmer modelo AA 800 (Zeeman effect).

#### Arsênio

A extração de arsênio foi realizada em 200mg da amostra vegetal, através da adição de HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sob aquecimento de 80-90°C.

A dosagem de arsênio foi feita por forno de grafite com a utilização de espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin Elmer modelo AA 800 (Zeeman effect).

### Mercúrio

Para a extração de mercúrio utilizou-se 1g de amostra com adição de  $V_2O_5$  e da mistura  $HNO_3 + H_2SO_4$  1:4, com aquecimento a 60-70°C.

A dosagem de mercúrio foi realizada pelo método de geração de hidretos com o uso de um aparelho GBC modelo MC3000 com a utilização de um espectrofotômetro de absorção atômica GBC 932AA.

### **3.3. Interpretação e tratamento dos resultados**

Foram realizadas análises estatísticas dos dados por meio dos programas SPSS 15.0 e STATISCA 10.

Foram realizados os testes estatísticos de média de Tukey, correlação de Pearson e análise de componentes principais (ACP), além de outros recursos de estatística básica (Desvio-padrão, média, mediana, mínimos e máximos).

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Potencial Hidrogeniônico (pH) e Potencial Redox (Eh)

O pH e Eh são parâmetros muito importantes para o monitoramento dos sistemas aquáticos pois fornecem dados sobre as variações globais das condições ambientais geoquímicas e sobre a tendência do comportamento de elementos e substâncias químicas de origem contaminante ou natural. Os valores médios de pH e Eh encontrados nas 21 amostras de sedimentos analisados são apresentados na tabela 3, e os dados brutos constam no anexo 1.

Tabela 3. Médias, Desvio Padrão, Máximo e Mínimo dos valores de pH e Eh encontrados nos sedimentos dos 21 pontos analisados, na primeira e segunda coleta.

	Coleta			
	1 <sup>a</sup>		2 <sup>a</sup>	
	pH	Eh	pH	Eh
<b>Média</b>	6,72	-252,57	6,70	-237,52
<b>Desvio Padrão</b>	0,28	73,99	0,32	104,71
<b>Máximo</b>	7,43	-100	7,15	58
<b>Mínimo</b>	6	-352	5,78	-359

Os resultados evidenciam o caráter neutro a fracamente ácido dos sedimentos nas duas coletas (média de 6,7). Estes valores situam-se dentro da faixa de variação natural de pH frequentemente verificada em sedimentos da Lagoa dos Patos e da região estuarina (BAISCH, 1987, 1997; BAISCH e MIRLEAN, 1998), pois a maior parte dos valores neste ambiente oscila entre 6,50 a 7,50.

A homogeneidade dos valores do pH entre as amostras (dentro de uma faixa aproximadamente neutra) indica que esse parâmetro é pouco importante sobre o controle da mobilidade dos contaminantes metálicos dos sedimentos da região de Rio Grande (FERNANDES E ROSA, 2011).

Os parâmetros estatísticos do Eh apresentados na Tabela 3 mostram que os sedimentos apresentam, para os dois períodos, condições redutoras. O único ponto com tendência oxidante foi verificado no ponto 22, na segunda coleta. As condições redutoras dos sedimentos indicam que os metais podem formar compostos sulfetados e estarem associados ao suporte orgânico sedimentar.

Para os dois parâmetros ocorreu maior variação nos valores da segunda coleta (desvio padrão maior). A segunda coleta apresentou valores um pouco mais ácidos e menos redutores, quando comparados a primeira coleta. Assim, os sedimentos



analisados neste estudo são classificados como redutores e de caráter neutro a fracamente ácido.

#### 4.2. Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total

As análises de carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total mostraram que os níveis destes elementos nas amostras coletadas são relativamente altos (Tab. 4). Estes resultados eram esperados, visto que as amostras foram coletadas em região de marisma.

Tabela 4. Concentrações médias, desvio padrão, máximo e mínimo de Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total das 21 amostras de sedimento.

	1ª coleta			2ª coleta		
	COT	N	P	COT	N	P
<b>Média</b>	1,62	4091,83	5401,49	2,30	3800,34	1724,37
<b>Desv. Padrão</b>	0,66	2122,15	2724,14	0,94	1999,91	892,22
<b>Maximo</b>	2,92	8324,20	9528,39	5,04	9310,86	4159,47
<b>Mínimo</b>	0,58	510,02	373,90	1,21	1542,96	350,91

Os valores de COT expressos em porcentagem variaram de 2,92 a 0,58%, sendo encontrado no ponto 8 o de valor mais alto, e o mais baixo no ponto 12, na primeira coleta. Já na segunda coleta, o ponto com valores mais baixos foi o ponto 13, e o mais alto permaneceu sendo o ponto 8. Na segunda coleta os valores variaram de 5,04 a 1,2%, com valor médio de 2,3%, valor maior do que na primeira, que apresentou média 1,62% (Fig. 5).

O aporte de material fecal tem significativa influência no teor de carbono orgânico, sendo que sedimentos sob influência de esgoto apresentam maiores teores de carbono orgânico (FROEHNER & MARTINS, 2008). A amostra 8 tem localização próxima a uma estação de aquacultura da FURG e também nas proximidades de um ponto de descarga de esgoto doméstico, o que justifica os altos níveis de COT. Observando-se a figura 5 pode-se perceber que os valores mais altos são localizados dos pontos 6 a 11, que representam pontos no lado industrial do Saco da Mangueira e Saco do Justino, onde há descarga de efluentes, e na Ilha da Pólvora, que é totalmente coberta por vegetação de marismas.

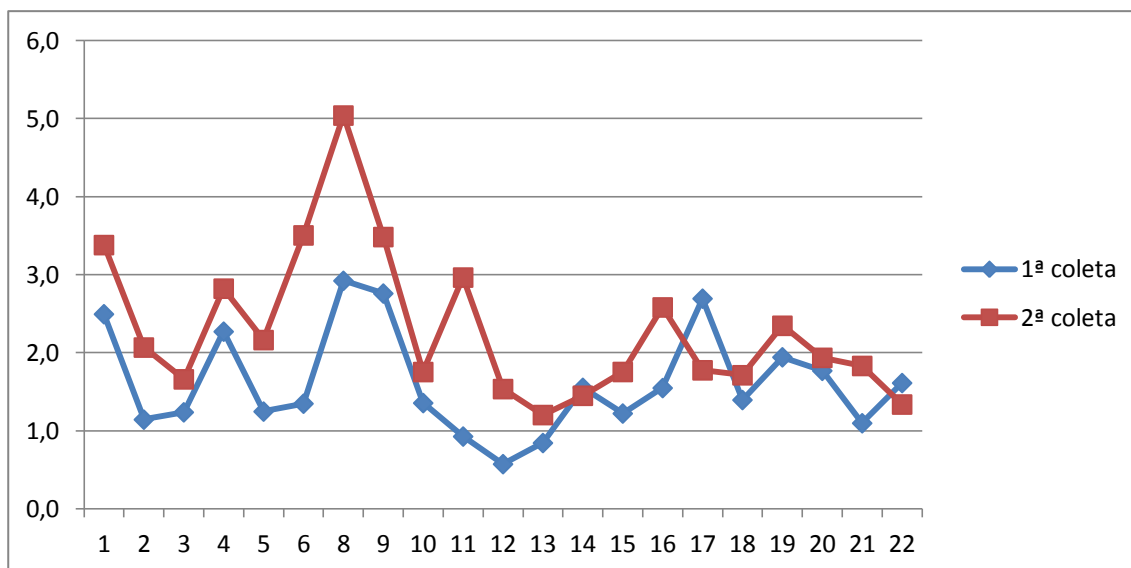


Figura 5. Valores de COT (%) nos 22 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta.

Os maiores valores encontrados na segunda coleta são atribuídos ao efeito sazonal de verão pois no final de verão os sedimentos estão ricos em matéria orgânica, devido à produção de detritos de algas, macrófitas e outros organismos. Já no final de inverno, período em que foi realizada a primeira coleta, o sistema ecológico e a produtividade do estuário ainda estão no início, por isso os valores de COT foram menores neste período.

Os valores de nitrogênio total (N) variaram, na primeira coleta, de 8324 a 510 mg/kg. Na segunda coleta os valores variaram de 9310 a 1542 mg/kg. Os valores médios de N foram bastante semelhantes nas duas coletas, tendo valores médios de 4.091 na primeira coleta, e 3.800 na segunda coleta, pois a produtividade é pouco significativa em termos de compostos nitrogenados nos sedimentos devido a sua maior capacidade de mineralização.

A distribuição de nitrogênio total nos sedimentos analisados é semelhante à distribuição de carbono orgânico total. Os maiores valores de COT e N ocorreram nos pontos localizados no Saco do Justino.

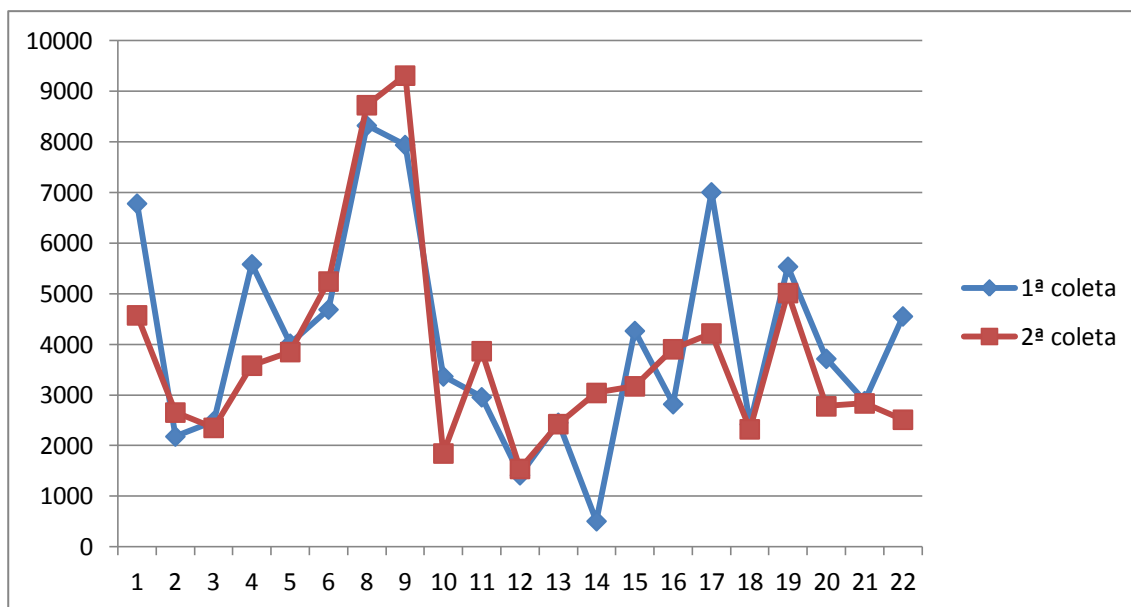


Figura 6. Valores de N nos 21 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta.

Os níveis de fósforo total na primeira coleta variaram de 9528 a 373 mg/kg. A amostra com os valores mais elevados de P foi do ponto 4, localizado na região industrial da cidade de Rio Grande. Os níveis de fósforo variaram de 4159 a 350 mg/kg na segunda coleta, sendo o ponto 5 o de valor mais elevado, também localizado na região industrial do município de Rio Grande. Os valores médios de fósforo foram maiores na primeira coleta – 5401,49 mg/kg – quando comparado ao valor médio da segunda – 4159,47 mg/kg – como é possível notar na figura 7.

Os baixos níveis de fósforo na segunda coleta pode ser resultado da utilização de fosfato nos processos produtivos do ecossistema estuarino típicos desse período. Já na primeira coleta os teores de P são maiores devido à baixa produtividade do ambiente no inverno.

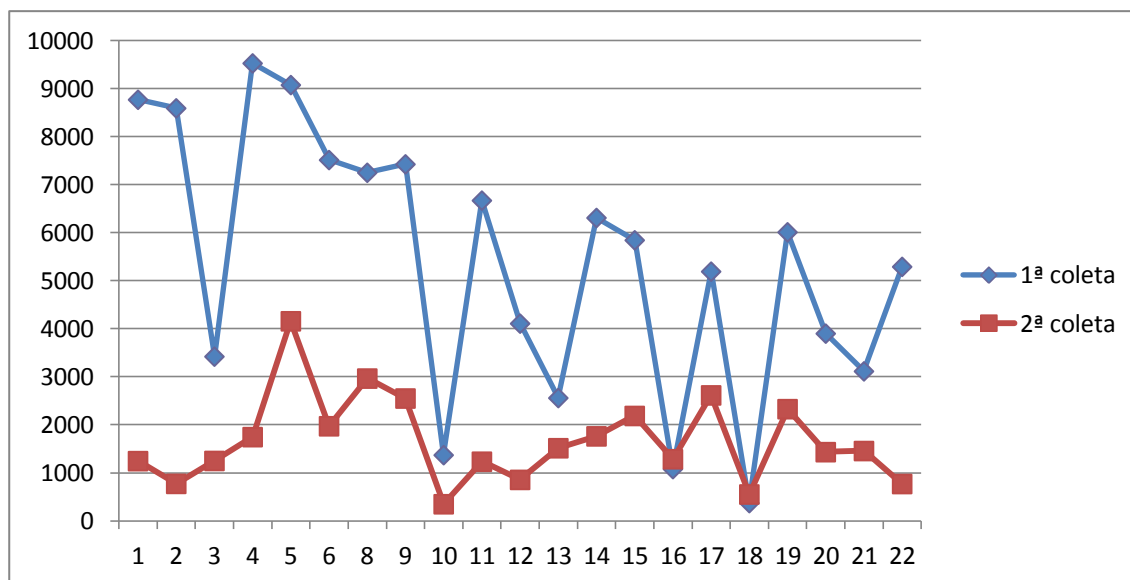


Figura 7. Valores de P (ppm) nos 21 pontos analisados, comparando os teores da primeira e segunda coleta.

O fósforo é um parâmetro extremamente importante na análise de sedimentos e tem sido intensamente estudado nos ambientes aquáticos, como reflexo do lançamento indiscriminado de esgotos domésticos e industriais (FROEHNER & MARTINS, 2008). Outro fator a ser observado é que, por se tratar de ambiente de marisma, é maior a retenção de fósforo por organismos vivos para composição de matéria orgânica (RUTTENBERG & GONI, 1997).

O enriquecimento de P nos sedimentos da região de estudo pode ser imputado a fatores naturais e antrópicos. As condições inerentes de o ambiente estuarino ter grandes variações físico-químicas é um fator muito importante para o acúmulo de fósforo nos sedimentos, que se somam com os aportes resultantes dos efluentes urbanos e industriais, especialmente das indústrias de fertilizantes locais (FERNANDES E ROSA, 2011). Os altos valores de P-total não podem ser considerados excepcionais ou anômalos, uma vez que se situa dentro dos teores historicamente encontrados nos sedimentos da região portuária-estuarina da Lagoa dos Patos (BAISCH et al., 2005).

As análises dos sedimentos de marisma estudados mostram que esses sedimentos são ricos em carbono orgânico, nitrogênio e fósforo total. As concentrações de COT e N ficaram próximas dos 2% e 4.000 mg/kg, respectivamente, já as concentrações de P ficaram em torno de 2.000 mg/kg na primeira coleta e 5.000 mg/kg na segunda coleta.

### 4.3. Granulometria

Os dados de granulometria apresentados na forma de valores médios das frações areia, silte e argila para os dois períodos estudados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios, desvio padrão, máximos e mínimos em porcentagem de areia, silte e argila, nas duas coletas.

	Primeira coleta			Segunda coleta		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
Média	88,76	6,96	4,28	92,34	4,19	3,47
Desv.Padrão	13,33	8,56	5,11	8,33	5,05	3,55
Máximo	100	28,54	20,28	100	13,85	10,19
Mínimo	51,18	0	0	75,96	0	0

Os sedimentos mostraram-se basicamente formados por areia com pequenos teores de silte e argila, e não houve variação sazonal na granulometria destes sedimentos.

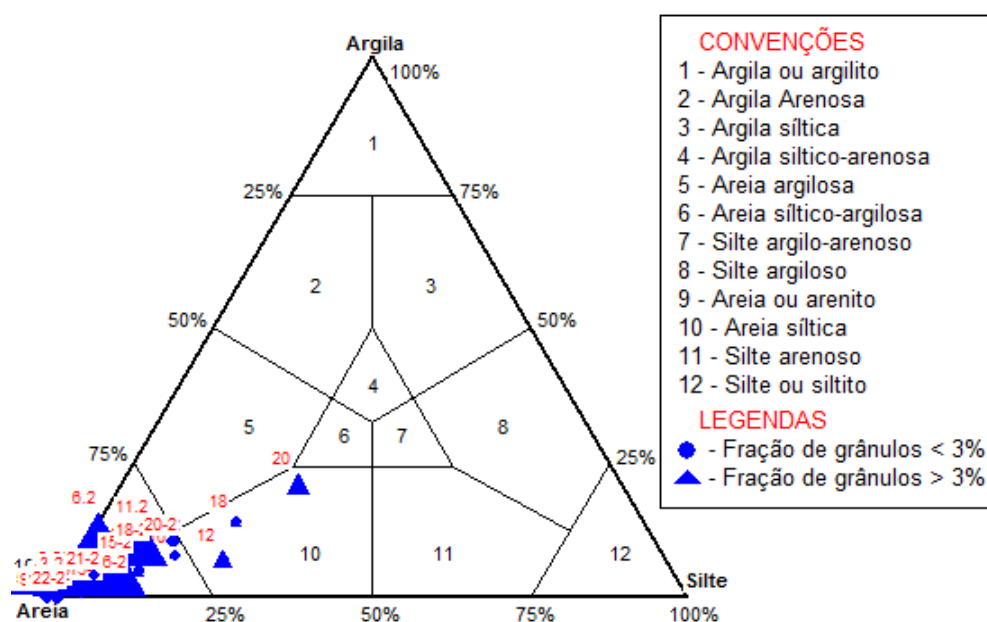


Figura 8. Diagrama triangular de classificação granulométrica (SHEPARD, 1954) dos valores médios dos sedimentos superficiais.

A classe textural dos sedimentos segundo o diagrama de Shepard (figura 8) mostra que a grande maioria dos sedimentos estudados são areia ou arenito. Observa-se que apenas 3 pontos, na primeira coleta, apresentaram classificação diferente. Os pontos 12 na Ilha do Terraplano, 18 na Ilha dos Marinheiros e 20 em São José do Norte foram classificados como areia siltica.

Portanto, os sedimentos estudados nesse trabalho foram essencialmente arenosos, que se constituem como uma característica do substrato da comunidade de *Spartina alterniflora* nas margens do sistema estuarino da Lagoa dos Patos, não havendo variação sazonal para este parâmetro nas amostras analisadas.

#### 4.4. Metais pesados nos sedimentos

Foram analisados os elementos metálicos de Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg nas 21 amostras de sedimento. Os valores encontrados nos sedimentos analisados da primeira coleta são apresentados na tabela 6 e figura 9.

Tabela 6. Concentrações médias, Desvio Padrão e Valores Máximo e Mínimo de Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg da primeira coleta, expressos em mg/kg. (n=21)

	Metais							
	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As	Cd	Hg
<b>Média</b>	35,50	74,93	16,86	23,12	94,52	7,36	0,60	0,04
<b>Desv.Pad.</b>	43,98	162,09	4,07	5,09	53,44	5,07	0,97	0,03
<b>Máximo</b>	222,26	769,49	28,35	38,10	266,72	23,48	4,24	0,14
<b>Mínimo</b>	14,59	12,24	4,07	5,09	49,07	3,20	0,02	0,01

O metal que apresentou maior valor médio nos sedimentos da primeira coleta foi o zinco, que variou de 53 a 266 mg/kg, seguido por chumbo e cobre. O chumbo também apresentou o maior desvio padrão, mostrando que houve bastante variação nos teores entre as amostras analisadas (12 a 769 mg/kg).

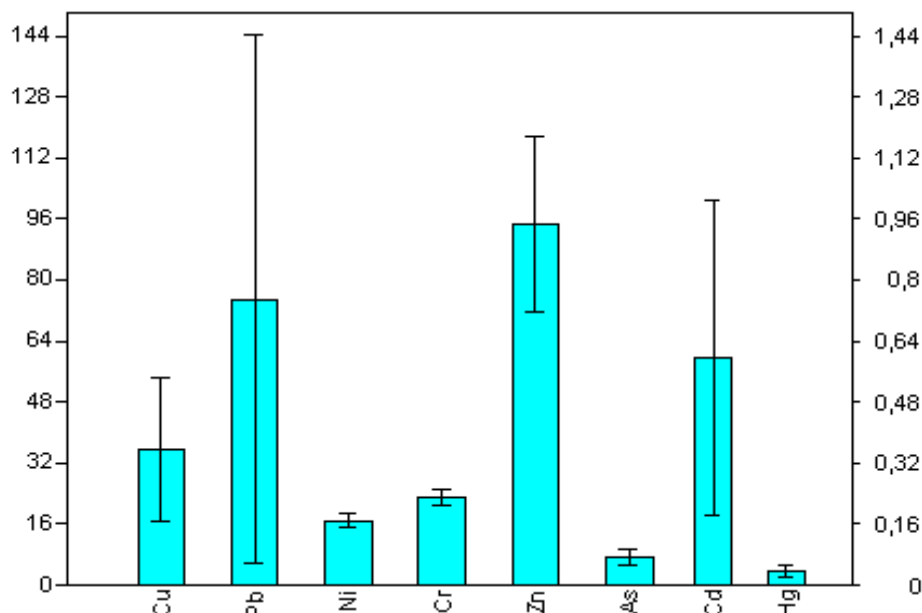


Figura 9. Valores médios para metais analisados (média + erro padrão). Primeira coleta.

Os valores máximos para Cu, Pb, Zn, As e Hg foram encontrados no ponto 17, ponto localizado em região pesqueira da Ilha dos Marinheiros. No ponto 6 foram encontrados os níveis máximos de Ni e Cr, localizado no Saco da Mangueira e Cd no ponto 3, localizado no região da Barra, pontos estes localizados nas imediações do centro industrial de Rio Grande.

Os valores médios encontrados nos sedimentos na segunda coleta são apresentados na tabela 7 e figura 10.

Tabela 7. Concentrações Médias, Desvio Padrão e Valores Máximo e Mínimo de Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg na segunda coleta, expressos em mg/kg. (n=21)

	Metais							
	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As	Cd	Hg
<b>Média</b>	26,87	39,48	18,25	25,87	80,32	4,73	0,26	0,04
<b>Desv.Pad.</b>	10,67	35,89	3,74	6,20	32,02	2,33	0,26	0,03
<b>Máximo</b>	51,97	172,06	27,23	38,23	163,72	11,95	1,04	0,13
<b>Mínimo</b>	10,67	14,70	3,74	6,20	32,02	1,49	0,01	0,01

Na segunda coleta a maior média encontrada foi para o elemento zinco, seguido por chumbo e cobre, assim como verificado na primeira coleta. No entanto, as médias destes elementos foram mais altas na primeira coleta, assim como para arsênio e cádmio. Já para níquel, cromo e mercúrio, as médias foram mais altas na segunda coleta. No entanto, não houve diferença significativa entre os metais da primeira e

segunda coleta ( $p < 0,001$ ), e as variações observadas são atribuídas a oscilações naturais do próprio sedimento.

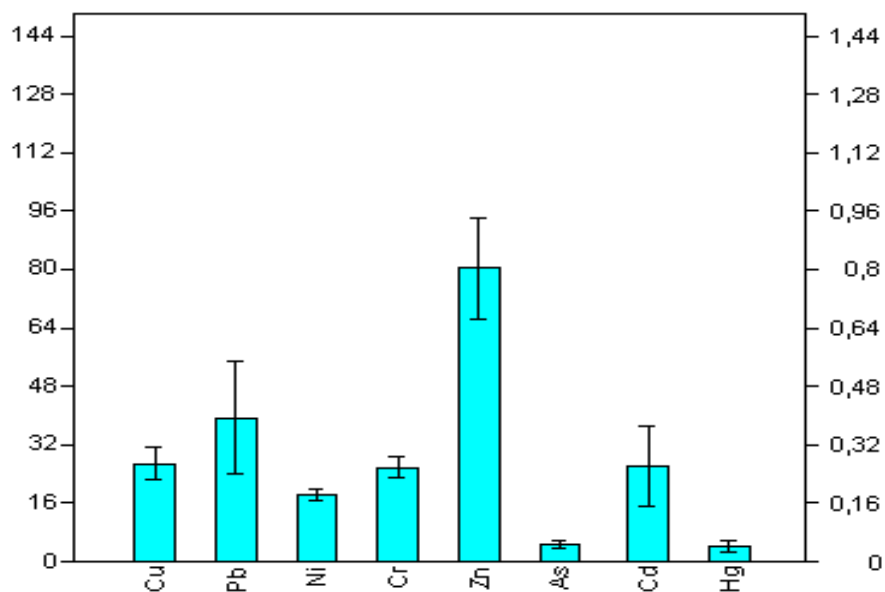


Figura 10. Valores médios para metais analisados (média + erro padrão). Segunda coleta.

Os níveis máximos de níquel, zinco e cádmio foram encontrados no ponto 6, localizado no bordo do Saco da Mangueira adjacente ao centro industrial de Rio Grande. Este ponto, na primeira coleta, também apresentou os maiores valores de níquel. O ponto 15 apresentou os valores máximos de cobre e cromo, e o ponto 14 teve os mais altos níveis para mercúrio, também localizados no Saco da Mangueira. Já para chumbo, o valor máximo foi encontrado no ponto 17, na Ilha dos Marinheiros, assim como foi registrado na primeira coleta, no entanto este valor foi de 172 mg/kg, bem abaixo do valor encontrado neste mesmo ponto na primeira coleta.

Os valores dos elementos metálicos obtidos neste trabalho são comparados com valores de referência no Brasil e na região, na tabela 8.



Tabela 8. Comparação entre os valores médios deste estudo, primeira e segunda coleta, com valores de referência para sedimentos.

Elemento	1ª coleta			2ª coleta			LP	CONAMA 344
	Média ± DP	Máximo	Mínimo	Média ± DP	Máximo	Mínimo		
<b>Cu (mg/kg)</b>	35 ± 44	222	15	27 ± 11	52	114	18	34
<b>Pb (mg/kg)</b>	75 ± 162	769	12	39 ± 36	172	15	17	46,7
<b>Ni (mg/kg)</b>	17 ± 4	28	4	18 ± 4	27	4	23	20,9
<b>Cr (mg/kg)</b>	23 ± 5	38	5	26 ± 6	38	6	39	81
<b>Zn (mg/kg)</b>	95 ± 53	267	49	80 ± 32	164	32,	69	150
<b>As(mg/kg)</b>	7 ± 5	23	3,2	5 ± 2	12	1,5	50	8,2
<b>Cd(mg/kg)</b>	0,6 ± 0,9	4,2	0,02	0,26 ± 0,2	1,04	0,007	0,19	1,2
<b>Hg (mg/kg)</b>	0,04 ± 0,03	0,137	0,009	0,04 ± 0,03	0,126	0,01	0,05	0,15

LP - valores de referência para a região lagunar/estuarina da Lagoa dos Patos (BAISCH 1987; BAISCH *et al.*, 1989; BAISCH, 1994; BAISCH 1997; MIRLEAN *et al.*, 2003) retirado de LIMA, (2004)

CONAMA - nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, presente na Resolução CONAMA 344/2004.

De acordo com a tabela 8, pode-se perceber que os elementos Cr e As estão em média abaixo dos dois valores de referência, nas duas estações analisadas. Os teores de Zn e Cd ficaram abaixo dos valores de referência do CONAMA, no entanto, apresentaram concentrações acima dos valores de referência para a Lagoa dos Patos. Além destes, os níveis de Ni e Hg também apresentam, nas duas coletas, valores abaixo da Resolução CONAMA 344 (2004).

Quando analisamos os teores de Pb e Cu, observamos que estes ficaram, na segunda coleta, abaixo dos valores da CONAMA. Porém, na primeira coleta as concentrações ficaram acima destes valores de referência, indicando algum processo de contaminação por estes elementos.

Quando analisamos cada ponto amostrado em relação ao valor de referência fixado pela Resolução CONAMA 344 (2004), nota-se que apenas Cr e Hg não apresentaram teores acima dos valores de referência. Os elementos que apresentaram maior quantidade de amostras com teores acima do valor de referência foram: Pb, com 12, Cu, com 9 e As, com 7 amostras.

Alguns pontos merecem destaque, uma vez que apresentaram teores acima do nível de referência para mais de um elemento, como os pontos 6, 15 e 16, no Saco da Mangueira, e o ponto 17, na Ilha dos Marinheiros. Este último, localizado em uma zona de atracadouros de barcos de pesca artesanal, apresentou níveis elevados de Cu, Zn, Pb e As na primeira coleta, e de Cu e Pb na segunda coleta.

O ponto 6, localizado próximo das indústrias de fertilizantes do Distrito Industrial de Rio Grande, apresentou teores que excedem os valores de referência para

Ni, Zn, Cd e As, na primeira coleta, e, na segunda, para Ni, Zn e Cu. Os elementos acima deste nível para o ponto 15 foram Cu e Pb, nas duas coletas, e para o ponto 16 foi o As, na primeira coleta e As, Cu, Pb e Ni na segunda coleta. Esses resultados indicam um processo de contaminação por metais pesados no Saco da Mangueira, uma vez que esse sistema possui diversos pontos de emissão de efluentes industriais, cloacais e pluviais. Dos 8 pontos analisados neste local, apenas 2 não apresentaram valores acima do nível de referência da resolução CONAMA para nenhum metal analisado.

A variação dos teores dos elementos metálicos dos sedimentos podem ser atribuídos essencialmente a fatores antrópicos/ambientais pois não há mudanças consideráveis dos principais suportes geoquímicos como a textura dos sedimentos e o conteúdo orgânico (COT, N e P).

A atividade das indústrias de fertilizantes aparece como uma provável importante fonte de contaminação dos sedimentos por As e uma fonte de menos intensidade de contaminação por Hg (MIRLEAN *et al*, 2008).

Além destas fontes, uma importante fonte de contaminação ambiental por metais na região de Rio Grande ocorre devido aos aterros antigos da cidade. O solo de Rio Grande foi bastante alterado pelas ocupações urbanas com aterros por diversos materiais, como entulhos de construção civil, lixo e sedimentos de dragagem, aterros estes intensamente contaminados por metais (CONCEIÇÃO, 2005) que, com as atividades na cidade, acabaram por liberar estes metais no ambiente.

#### **4.5. Distribuição dos metais nos sedimentos da área de estudo**

A distribuição de arsênio ao longo da área de estudo foi homogênea, com a maioria das amostras com concentrações abaixo de 5 mg/kg. Na Ilha da Pólvora, região próxima da área urbana, do Porto Velho e de indústrias de pescado, na primeira coleta, ocorreram concentrações mais elevadas, no entanto, esses teores foram mais baixos na segunda coleta. Os maiores teores foram registrados na primeira coleta, no ponto localizado na Barra de Rio Grande, por onde passam embarcações com destino ao Superporto da cidade, e na Ilha dos Marinheiros.

Os teores de cobre nos sedimentos foram baixos na região do Saco do Arraial e Saco do Justino, com exceção do ponto 17, situado na Ilha dos Marinheiros. Nas áreas do Porto Novo, de São José do Norte e Barra as concentrações foram baixas, no entanto,

no Saco da Mangueira, estas concentrações foram mais elevadas, principalmente na margem urbana deste Saco.

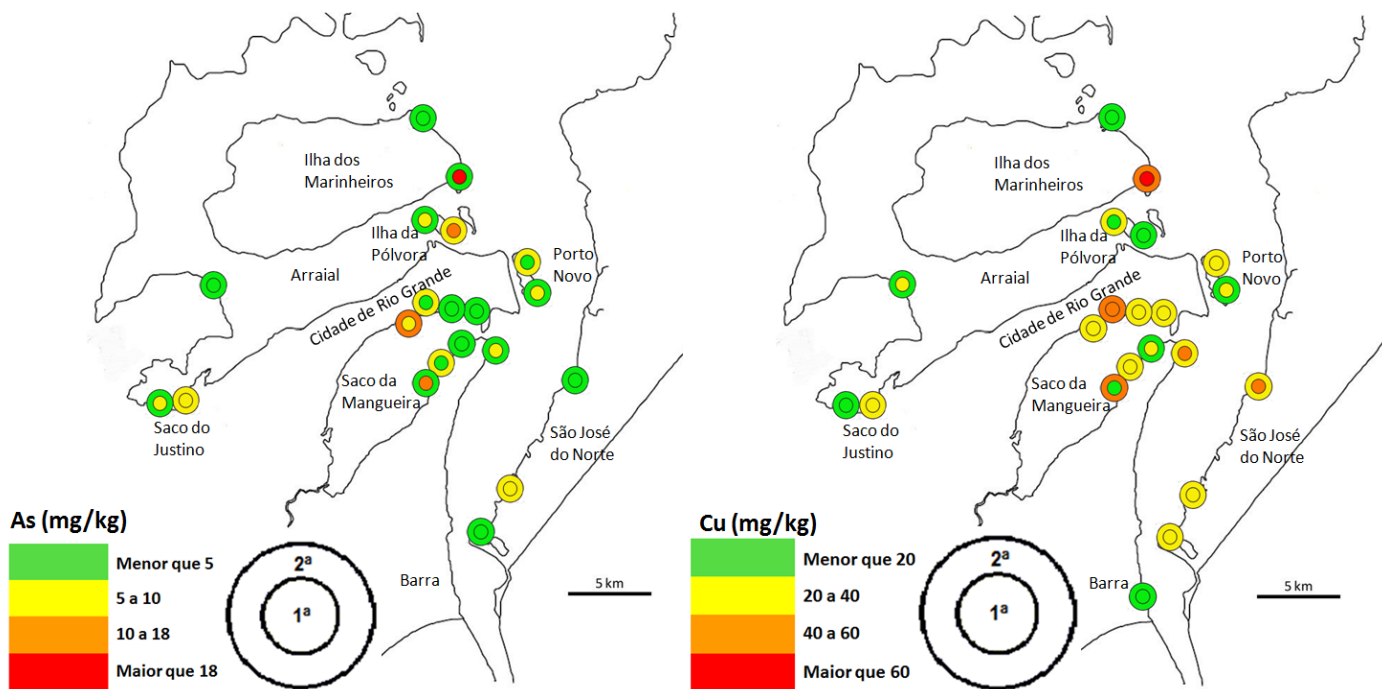


Figura 11. Mapa de distribuição de arsênio (esquerda) e cobre (direita) nos sedimentos da área de estudo.

Os valores de chumbo encontrados na região analisada ficaram, na maioria dos pontos, abaixo dos 50 mg/kg, no entanto ocorreram teores mais elevados em diversas partes desta área – Ilha dos Marinheiros, Saco do Justino, São José do Norte e Saco da Mangueira. As maiores concentrações ocorreram nas imediações de zonas de atracadouros de barcos de pesca artesanal e na margem urbana do Saco da Mangueira, o que dá suporte a hipótese da contaminação por chumbo estar ligada às atividades de pesca, como a confecção de utensílios de pesca (VANZ *et al.*, 2003). Além dessa fonte, esses mesmos autores atribuem a contaminação atmosférica às pinturas das construções mais antigas na cidade, contendo óxido de chumbo.

Assim como o chumbo, o mercúrio também apresentou distribuição bastante variada na área de estudo, sendo os maiores valores encontrados na segunda coleta no Saco da Mangueira (P2, P6, P14, P15 e P16). Na primeira coleta, ocorreram valores elevados no Saco do Justino e na Ilha dos Marinheiros (P17).

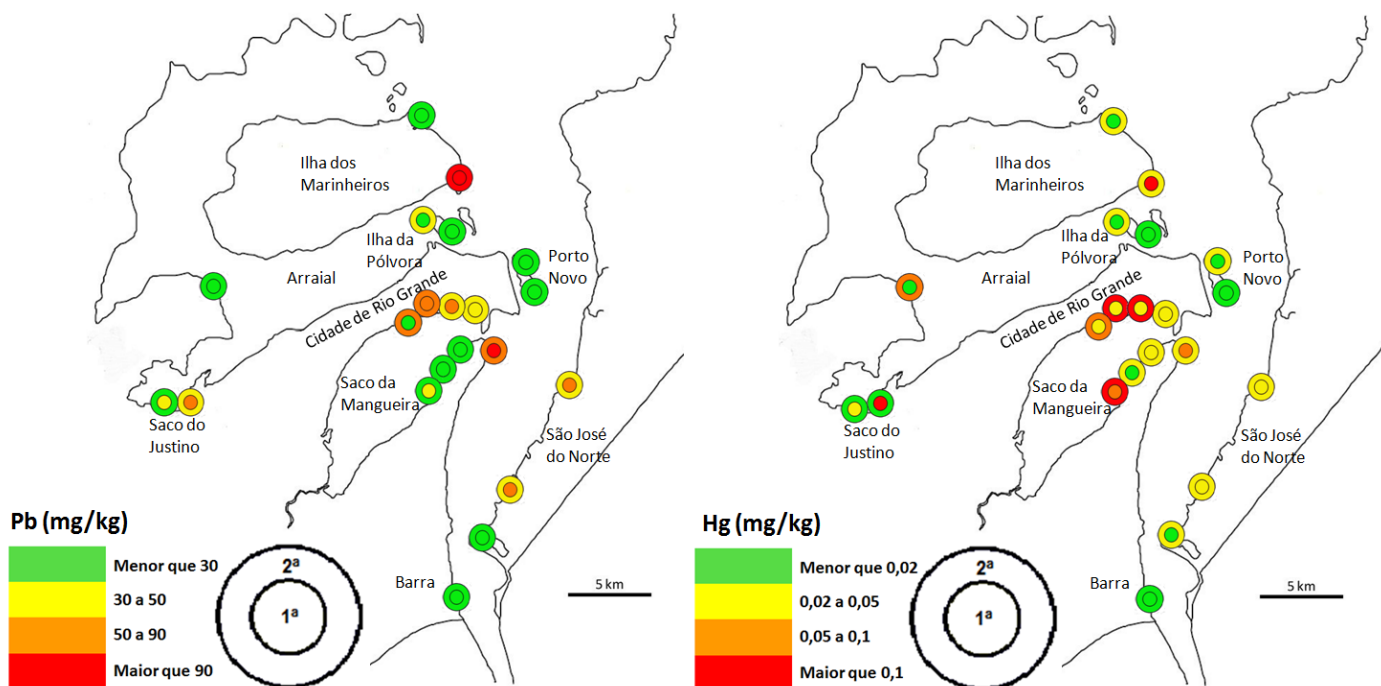


Figura 12. Mapa de distribuição de chumbo (esquerda) e mercúrio (direita) nos sedimentos da área de estudo.

As concentrações de cádmio foram maiores na região do Saco da Mangueira, onde ocorre descarga de efluentes domésticos e industriais da cidade de Rio Grande. Os teores mais elevados foram registrados no ponto 6, no entorno das indústrias de fertilizantes desta região. Também ocorreu um elevado teor deste metal no ponto localizado na Barra, na primeira coleta, no entanto, na segunda coleta, o valor encontrado neste ponto ficou abaixo de 0,1 mg/kg.

Em sua maioria, os teores de cromo ficaram na faixa de 20 a 25 mg/kg. As maiores concentrações foram encontradas no Saco da Mangueira, tanto na margem urbana e quanto na margem industrial.

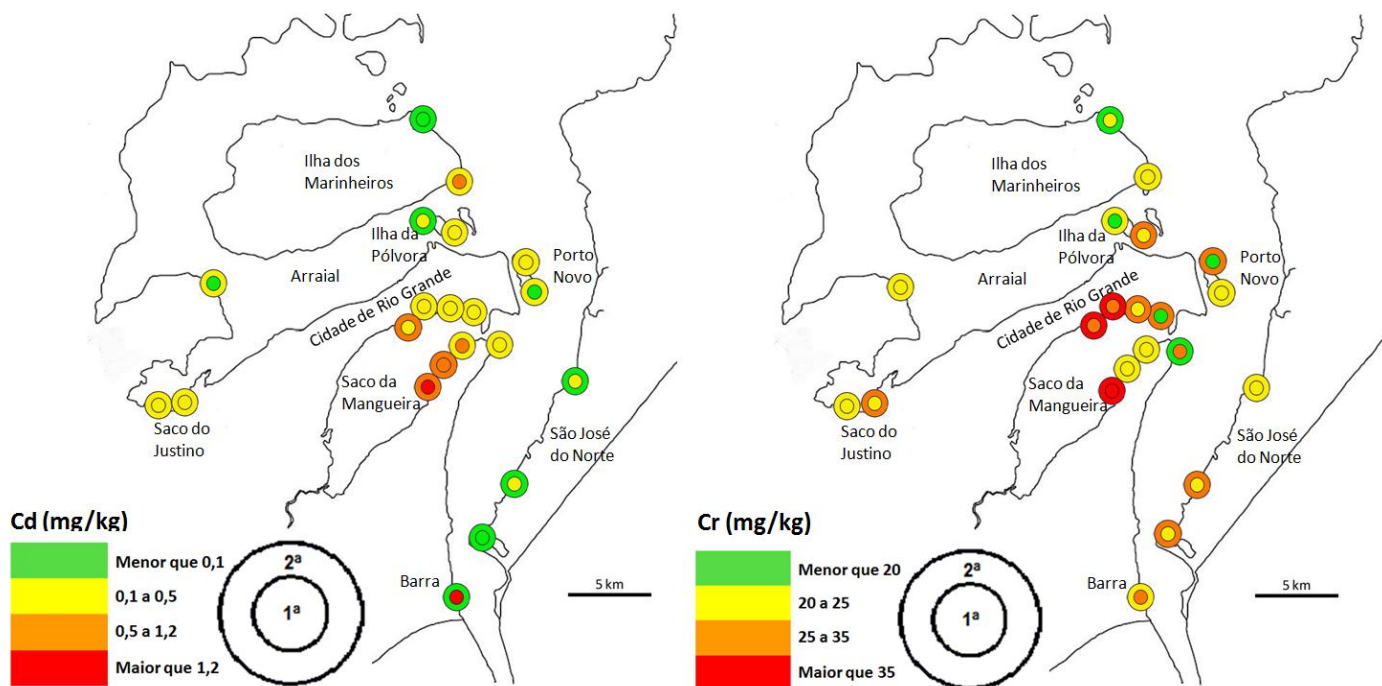


Figura 13. Mapa de distribuição de cádmio (esquerda) e cromo (direita) nos sedimentos da área de estudo.

O níquel apresentou concentrações menores na região norte da área de estudo, e as maiores foram encontradas no Saco da Mangueira. A margem urbana e próxima à Refinaria apresentou valores na faixa de 18 a 26 mg/kg, e os teores mais elevados foram verificados novamente no ponto 6, no distrito industrial da cidade. Os pontos de São José do Norte também apresentaram valores mais elevados na segunda coleta.

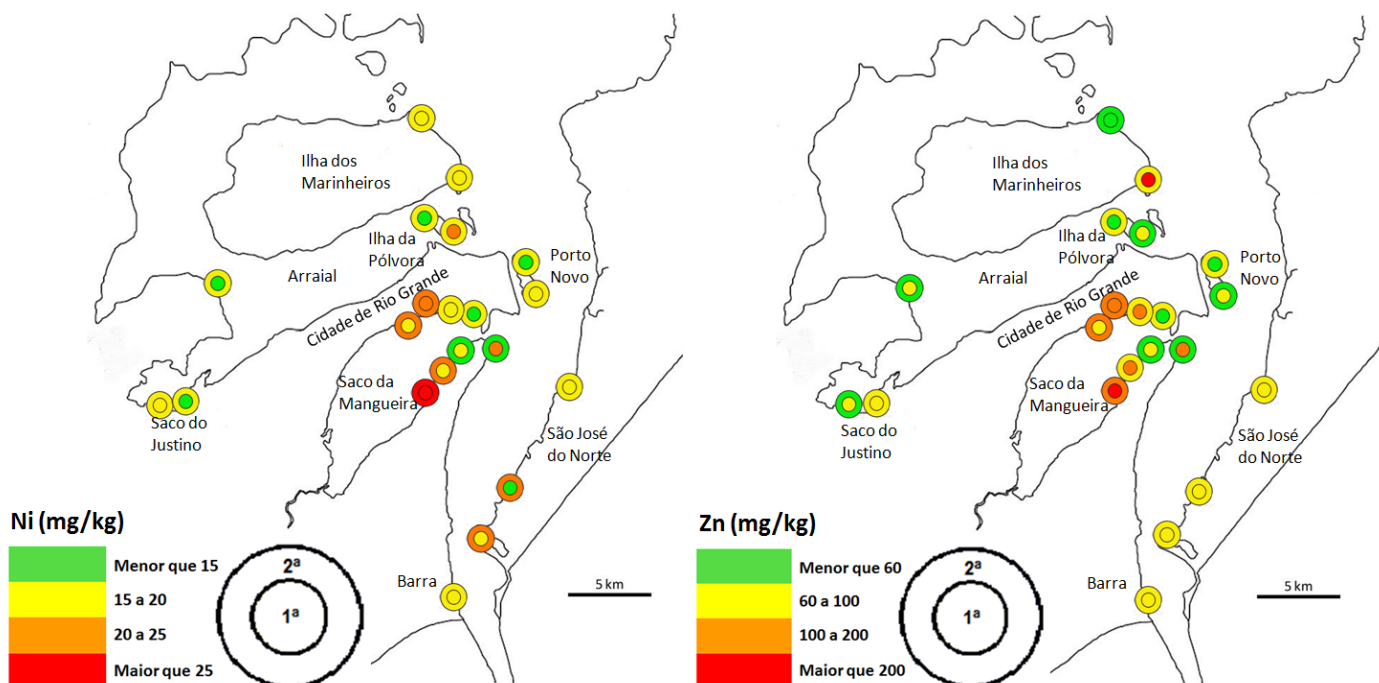


Figura 14. Mapa de distribuição de níquel (esquerda) e zinco (direita) nos sedimentos da área de estudo.

Os valores de zinco foram baixos na maior parte da área de estudo, ocorrendo valores mais elevados somente no Saco da Mangueira (ponto 6). Esse metal apresentou um valor que se destacou dos demais na primeira coleta na Ilha dos Marinheiros, onde foi encontrado valor superior a 200 mg/kg, fato que não se repetiu na segunda coleta.

#### 4.6. Metais pesados nas plantas

As amostras de plantas foram divididas em 3 partes: raiz, talo e folha, totalizando, assim, 126 amostras nas duas amostragens. Foram analisados os elementos metálicos Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg nos 3 segmentos estudados das plantas de *S. alterniflora*.

Os níveis mais altos de metais foram encontrados nas raízes (Figura 15). A concentração maior de metais na raiz em relação aos outras estruturas da *Spartina* está de acordo com a literatura sobre halófitas (PADINHA et al, 2000.; REBOREDA & CAÇADOR, 2007, REBOREDA et al., 2008).

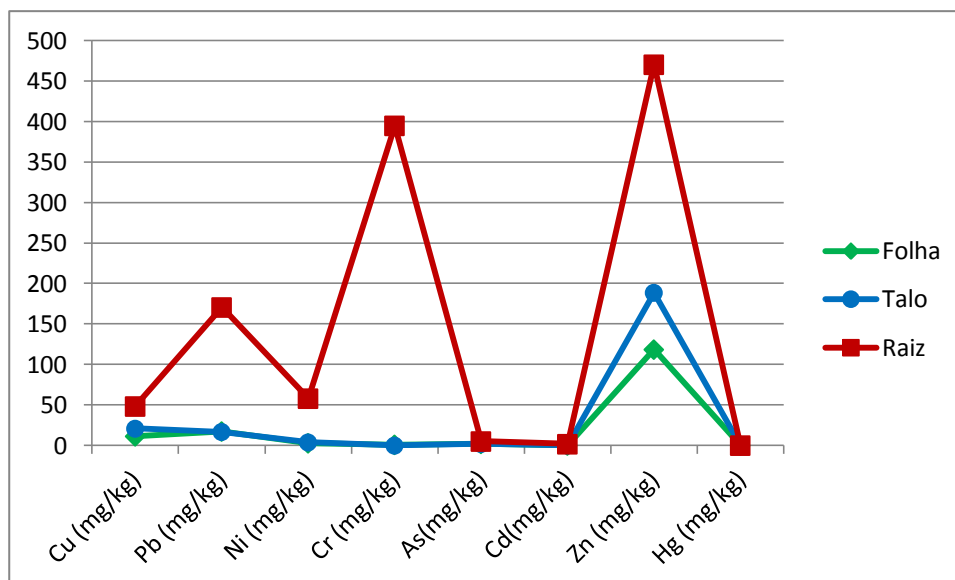


Figura 15. Valores médios encontrados de cada metal para Folha, Talo e Raiz da *S. alterniflora*. Valores em mg/kg.

O metal com as mais altas concentrações nas diferentes partes da planta foi o zinco, seguido por chumbo nas raízes e folhas, e cobre no talo. O zinco é reconhecido como o metal pesado mais abundante nas plantas (REBOREDA *et al.*, 2008; QUAN *et al.*, 2007) e o cobre na parte aérea (QUAN *et al.*, 2007), e a maior concentração de Pb nas folhas pode ser um indicativo dos aportes atmosféricos desse metal na região estuarina da Lagoa dos Patos, como referido por VANZ *et al.* (2003).

O teste Tukey para comparação de médias mostra que os valores das folhas, talos e raízes são estatisticamente iguais para Pb, Cr e Ni, portanto, há transferência igual destes metais para as diferentes estruturas vegetativas. Já para Cu, As, Zn e Cd verifica-se uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre raízes e os outros segmentos da planta, sendo estes os metais que se concentram mais nas raízes. Os teores de Hg foram estatisticamente iguais para folha e talo e folha e raiz, no entanto, a concentração deste elemento na raiz foi estatisticamente diferente do talo. Os teores de metais nos talos e nas folhas foram estatisticamente iguais para todos os metais analisados. Esse fato pode indicar que as raízes constituem-se em uma barreira para alguns metais, pois apenas uma pequena parte dos metais é transferida ao talo e folha.

O zinco apresenta maiores teores na raiz do que na parte aérea de *S. alterniflora* em marismas da Geórgia, no entanto os teores de cobre foram semelhantes entre as partes da planta (ALBERTS *et al.*, 1990).

A figura 16 mostra a presença dos metais em cada segmento da planta analisado (raiz, talo e folha), em porcentagem, representando se o metal foi ou não detectado no segmento.

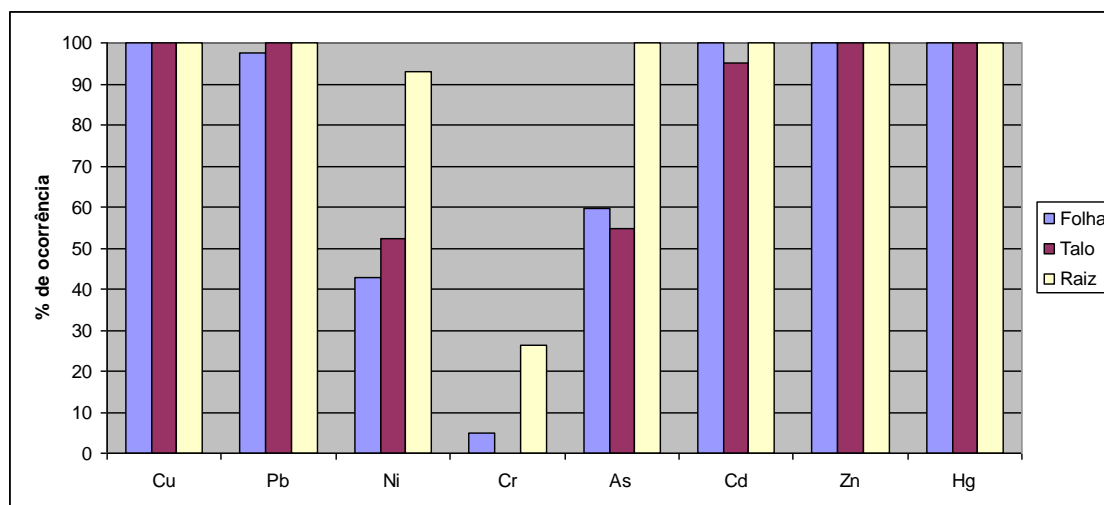


Figura 16. Porcentagem de ocorrência dos elementos metálicos nas Folhas, Talos e Raízes de *Spartina alterniflora*.

Observa-se que os elementos Cu, Zn e Hg tiveram 100% de ocorrência em toda a planta, e que a raiz é a estrutura com maior ocorrência dos oito metais analisados. Entre os metais estudados o Cr destaca-se pela baixa absorção pela planta, não havendo ocorrência deste metal no talo de nenhuma amostra analisada. Esse fato destaca o potencial das raízes da *S. alterniflora* para uso como bioindicador de contaminação por metais, em relação ao uso de folhas e talos. BEEFTINK *et al.* (1982), estudou a acumulação de metais em marismas da Holanda e sugeriu que raiz é mais indicada no estudo de contaminação por metais.



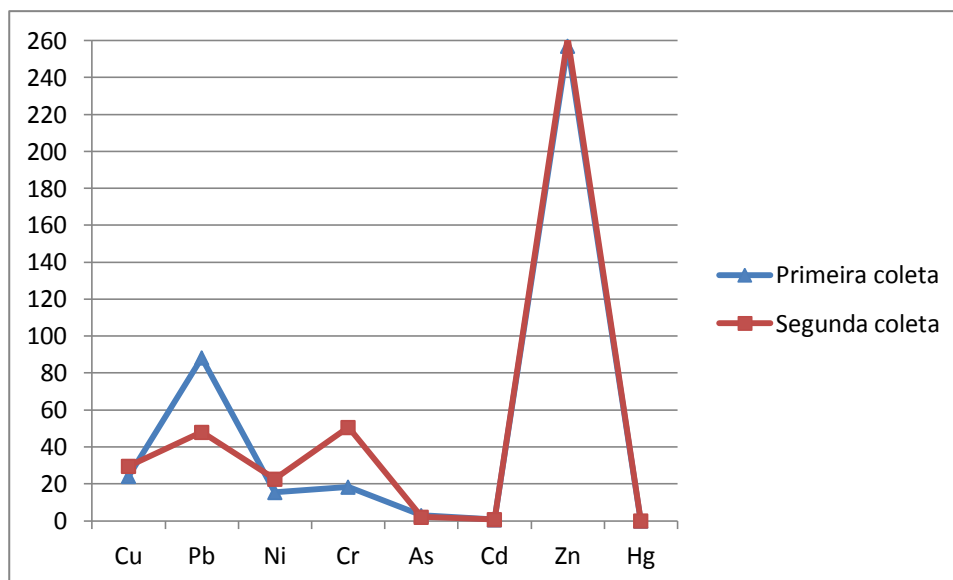


Figura 17. Valores médios de metais nas plantas, em mg/kg, nas duas coletas.

As concentrações dos elementos metálicos nas estruturas da *S. alterniflora* variaram pouco entre as coletas (figura 17). Ocorreu variação somente em Pb, que foi maior na primeira coleta, e Cr, que foi maior na segunda coleta. No entanto, não houve diferença significativa ( $p < 0,001$ ) entre as médias dos metais nas duas coletas para nenhum segmento das plantas.

Os valores médios dos metais são semelhantes aos valores encontrados por ALBERTS *et al.* (1990) na Geórgia, para mercúrio nas raízes, talos e folhas, no entanto, este encontrou teores máximos quase cinco vezes menor para cobre e quase três vezes menor para zinco.

Tabela 9. Valores médios, desvio padrão, máximos e mínimos de metais nas folhas, talos e raízes na primeira coleta. Valores em mg/kg.

	Folha				Talo				Raiz			
	Média	Desv.Pad	Max	Min	Média	Desv.Pad	Max	Min	Média	Desv.Pad	Max	Min
<b>Cu</b>	8,70	8,84	38,62	1,42	20,98	9,43	41,83	5,00	42,85	20,55	110,10	20,89
<b>Pb</b>	12,69	10,05	49,43	n/d	13,99	7,17	29,42	2,95	238,19	814,01	3773,59	9,94
<b>Ni</b>	2,06	2,66	10,63	n/d	3,31	4,32	17,10	n/d	41,01	150,22	696,49	2,57
<b>Cr</b>	0,09	0,38	1,71	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	54,98	230,77	1061,23	n/d
<b>As</b>	1,89	4,36	19,92	n/d	1,78	3,73	15,07	0,00	5,13	2,61	9,41	0,84
<b>Cd</b>	0,15	0,22	1,07	0,03	0,16	0,14	0,73	0,01	1,69	2,03	9,50	0,33
<b>Zn</b>	105,77	131,73	666,85	16,25	203,25	93,33	568,73	108,18	462,01	465,05	2347,08	106,91
<b>Hg</b>	0,026	0,011	0,061	0,013	0,023	0,011	0,059	0,013	0,028	0,008	0,045	0,014

n/d: não detectado

Houve grandes variações dos níveis de metais entre os pontos analisados. O ponto analisado com maior concentração de metais nas plantas foi no bordo do Saco da Mangueira adjacente ao centro industrial de Rio Grande (ponto 6), onde foram detectados os teores máximos de Cu, Ni, Cr, Hg e Zn nas raízes. Esse fato reitera a importância das fontes industriais na contaminação por metais nesse sistema.

Observa-se, a partir dos valores máximos de metais nos segmentos da *S. alterniflora* (tabelas 9 e 10), que a acumulação nas raízes é bastante superior aos outros segmentos.

Os maiores valores médios nas plantas foram de zinco, no entanto, o valor mais alto detectado foi de chumbo nas raízes no Saco da Mangueira (ponto 1), na primeira coleta.

Tabela 10. Valores médios, desvio padrão, máximos e mínimos de metais nas folhas, talos e raízes na segunda coleta. Valores em mg/kg.

	Folha				Talo				Raiz			
	Média	Desv.Pad	Max	Min	Média	Desv.Pad	Max	Min	Média	Desv.Pad	Max	Min
<b>Cu</b>	14,21	14,47	48,41	3,70	20,82	10,61	53,65	4,58	53,81	42,96	222,69	20,10
<b>Pb</b>	21,36	10,96	53,71	5,14	19,68	6,45	35,70	8,81	102,96	303,46	1425,51	16,01
<b>Ni</b>	0,44	1,31	5,67	n/d	0,81	2,19	9,52	n/d	66,68	285,97	1314,60	n/d
<b>Cr</b>	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	151,87	693,48	3178,44	n/d
<b>As</b>	0,70	2,07	9,28	n/d	0,41	1,38	6,20	0,00	5,04	5,22	24,42	0,38
<b>Cd</b>	0,23	0,68	3,17	0,03	0,24	0,60	2,81	0,00	1,84	3,98	14,90	0,17
<b>Zn</b>	131,34	203,38	1000,67	34,74	174,14	112,46	641,16	94,84	478,70	692,05	3412,23	136,26
<b>Hg</b>	0,027	0,005	0,045	0,020	0,027	0,003	0,034	0,021	0,031	0,007	0,056	0,020

n/d: não detectado

O trabalho de STEIN *et al.* (2011) realizado em Cananéia/Iguape, encontrou valores menores aos encontrados no presente trabalho para Zn, tanto nas folhas como nas raízes, no entanto, os valores de cromo foram muito superiores, chegando a 900 mg/kg para folhas e 10.000 mg/kg para raízes. DUARTE *et al.* (2010) analisou 3 espécies de *Spartina* (*S. fruticosa*, *S. perennis* e *S. maritima*) no estuário Tagus, em Portugal, e encontrou concentrações superiores a 1000 mg/kg para Zn e Pb, a 500 para cobre e 15 para Cd. Já no estudo de LIMA *et al.* (1986) os valores encontrados nas raízes não passaram de 272 para zinco, 5 para cromo e 0,4 mg/kg para Cd, na Baía de Sepetiba, valores bem inferiores aos deste trabalho. No entanto, o trabalho citado foi realizado em 1986, quando os níveis de contaminação nesse ambiente eram significativamente menores.

Todos os metais apresentaram ao menos um ponto com concentrações maiores nas raízes do que no sedimento, o que pode indicar bioacumulação destes elementos na planta. O zinco apresentou concentrações mais elevadas nas raízes em todos os pontos analisados. Cádmio, cobre e chumbo apresentaram essa característica na maioria dos pontos de coleta. Para o Hg e o As este aspecto foi verificado em menos da metade dos pontos, 19 e 15, respectivamente. O Ni e o Cr apresentaram apenas 3 pontos com concentrações de metais nas raízes superiores às concentrações verificadas nos sedimentos.

#### **4.7. Distribuição dos metais na *S. alterniflora* na área de estudo**

Os mapas de distribuição de metais na *S. alterniflora* na área de estudo foram confeccionados utilizando uma legenda de cores referentes a proporção do valor encontrado no ponto em relação a mediana da faixa de valores encontrados na amostra. Esta relação foi escolhida pois os valores encontrados nas raízes foram, para alguns metais, muito superiores aos valores encontrados nos talos e folhas.

O arsênio teve distribuição bastante variada na área de estudo. Na primeira coleta a maioria dos pontos apresentou teores abaixo ou próximos da mediana, e na segunda a maioria ficou abaixo deste referencial. Nas raízes foram encontrados pontos pouco acima da mediana e 5 pontos com concentrações 3 vezes maiores que a mediana no talo e 6 na folha, na primeira coleta. Na segunda coleta 2 pontos apresentaram concentrações acima de 3 vezes o valor da mediana nas raízes, 2 no talo e 4 nas folhas. No Saco da Mangueira foram analisados 8 pontos, e 5 destes apresentaram concentrações elevadas nas folhas ou talos na primeira coleta, o que pode indicar fonte atmosférica de arsênio para *S. alterniflora* nessa região.

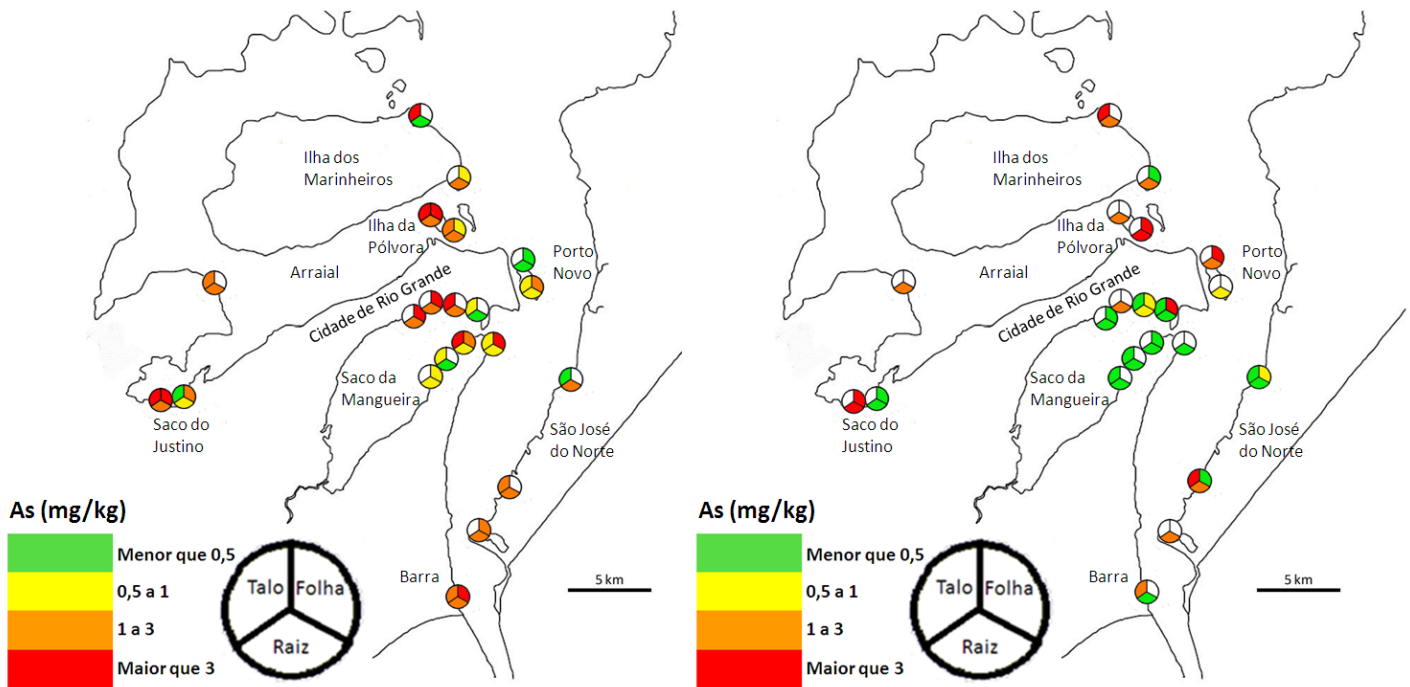


Figura 18. Mapa de distribuição de arsênio nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

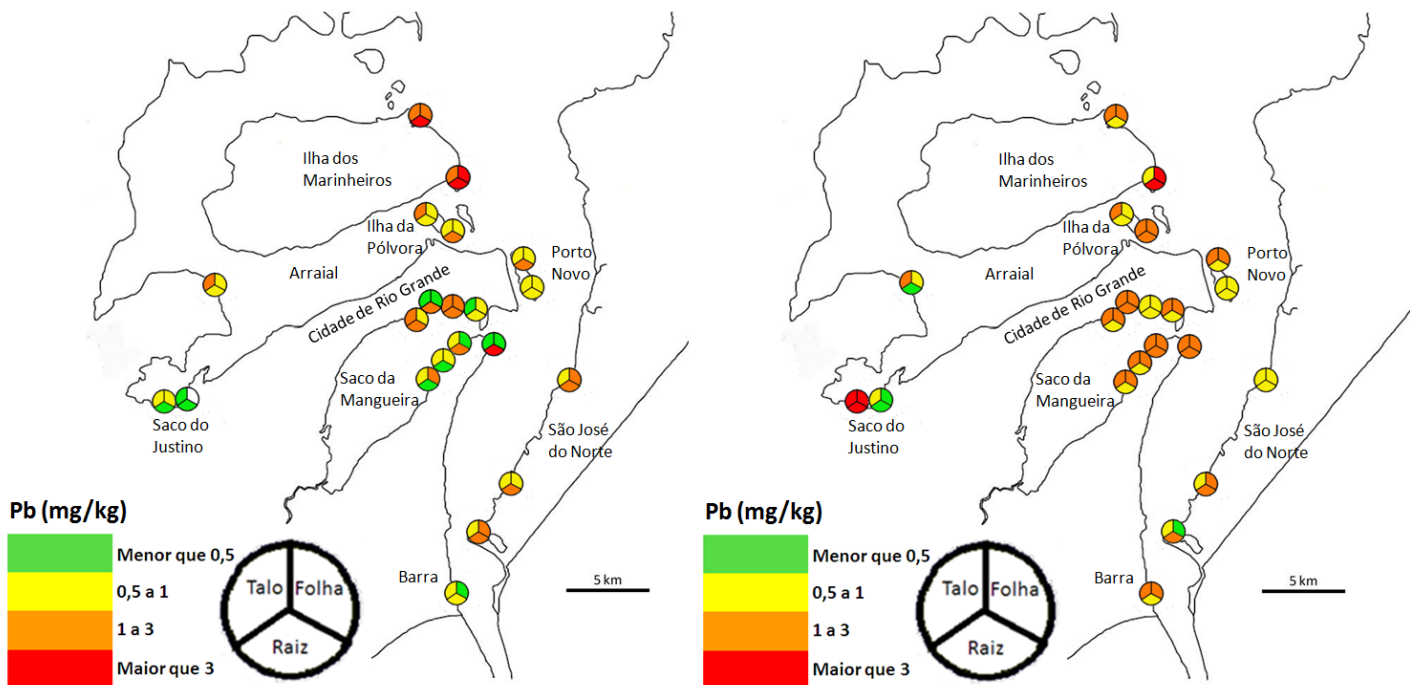


Figura 19. Mapa de distribuição de chumbo nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

A maioria dos pontos analisados apresentou concentração de chumbo próximo ou abaixo da mediana. Na primeira coleta, as concentrações de metais nas raízes estiveram mais de 3 vezes acima do valor da mediana em 3 pontos, sendo dois na Ilha

dos Marinheiros e um na entrada do Saco da Mangueira (Ponto 1), pontos localizados próximos de atracadouros de barcos de pesca artesanal. Na segunda coleta, o ponto 17, na Ilha dos Marinheiros manteve as concentrações elevadas nas raízes e folhas, e um ponto no Saco do Justino apresentou teores altos de chumbo na raiz, talo e folha.

Cabe ressaltar que dois pontos estiveram muito acima da mediana de distribuição de chumbo. O P1 apresentou concentrações 100 vezes maior que a mediana na primeira coleta e o P17, na segunda coleta, 40 vezes maior.

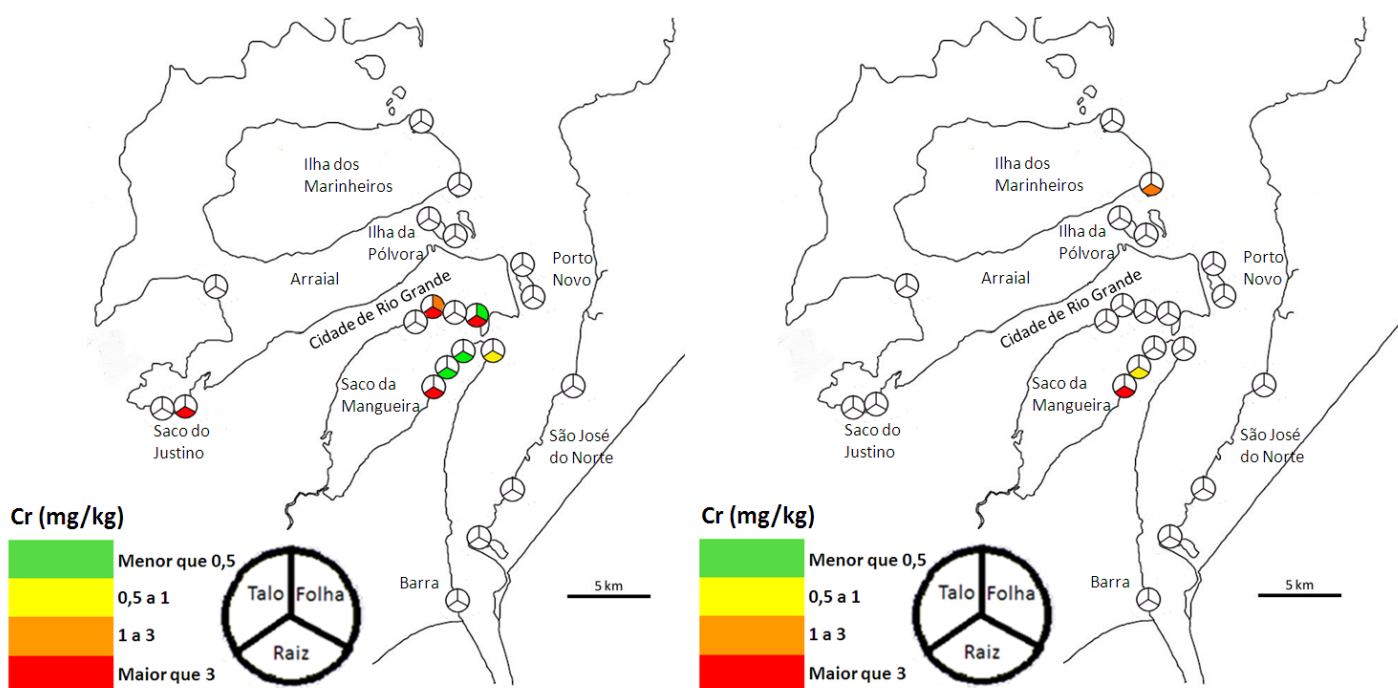


Figura 20. Mapa de distribuição de cromo nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

O cromo apresentou baixa ocorrência nos segmentos de *S. alterniflora*, sendo o metal com menor absorção por esta espécie. A segunda coleta apresentou ocorrência de cromo nas raízes apenas em 3 pontos e na primeira coleta este metal foi detectado em 8 estações amostrais, estando a maioria localizada no Saco da Mangueira.

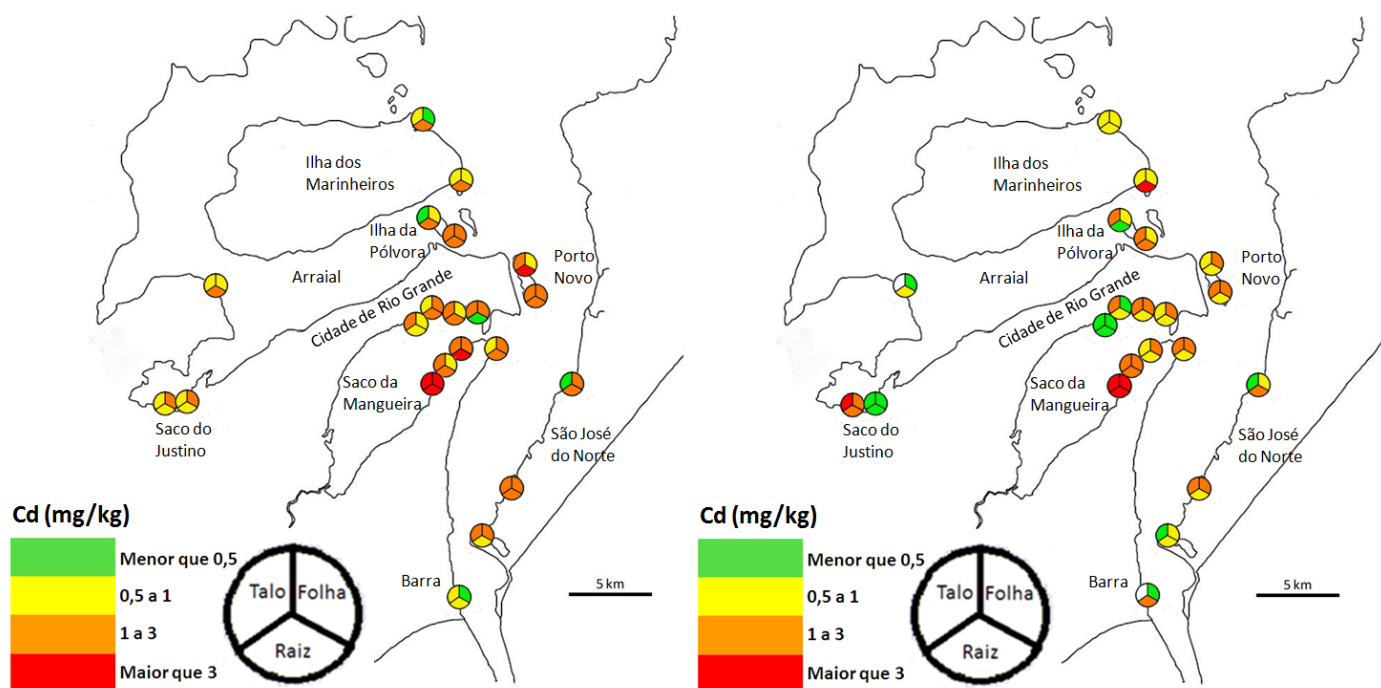


Figura 21. Mapa de distribuição de cádmio nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

O mapa de distribuição de cádmio mostra que ocorreram pontos com teores acima da mediana ao longo de toda a área de estudo, principalmente na primeira coleta. No Saco da Mangueira, onde ocorrem descargas de efluentes domésticos e industriais da cidade de Rio Grande, um ponto apresentou concentrações de cádmio mais de três vezes o valor da mediana na raiz, talo e folha, e um ponto na raiz, na primeira coleta, ambos no Saco da Mangueira. Na segunda coleta, também verificou-se uma elevada concentração em relação a mediana na raiz, talo e folha do P6, na raiz de um ponto localizado na Ilha dos Marinheiros e no talo de um ponto localizado no Saco do Justino.

Ocorreu grande variação na distribuição de cobre ao longo da área de estudo. Na primeira coleta ocorreram alguns pontos um pouco acima da mediana e somente dois pontos, localizados no Saco da Mangueira, apresentaram concentrações elevadas nas folhas. Na segunda coleta, os valores foram um pouco mais elevados do que na primeira, ocorrendo diversos pontos com concentrações maiores que o valor da mediana, principalmente no Saco da Mangueira (P6), em São José do Norte dois pontos na folha (P21 e 22) e no Saco do Justino um ponto no talo (P9).

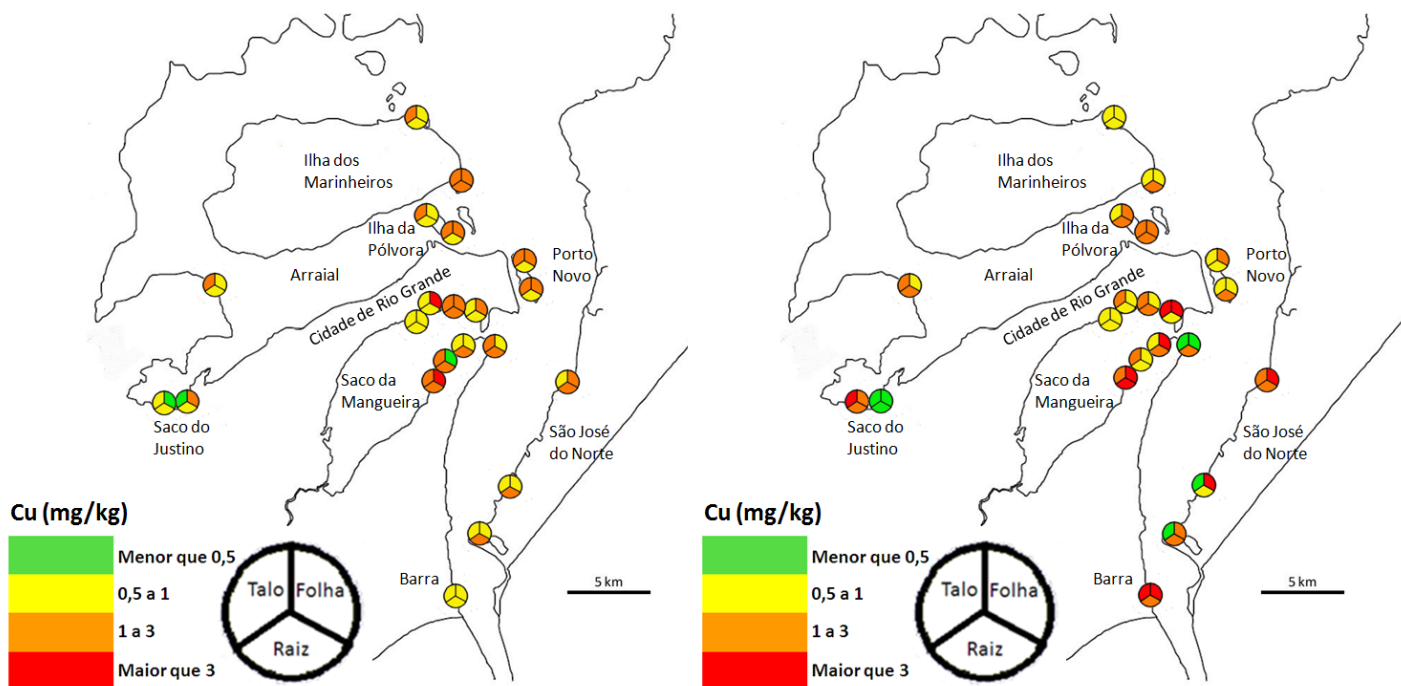


Figura 22. Mapa de distribuição de cobre nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

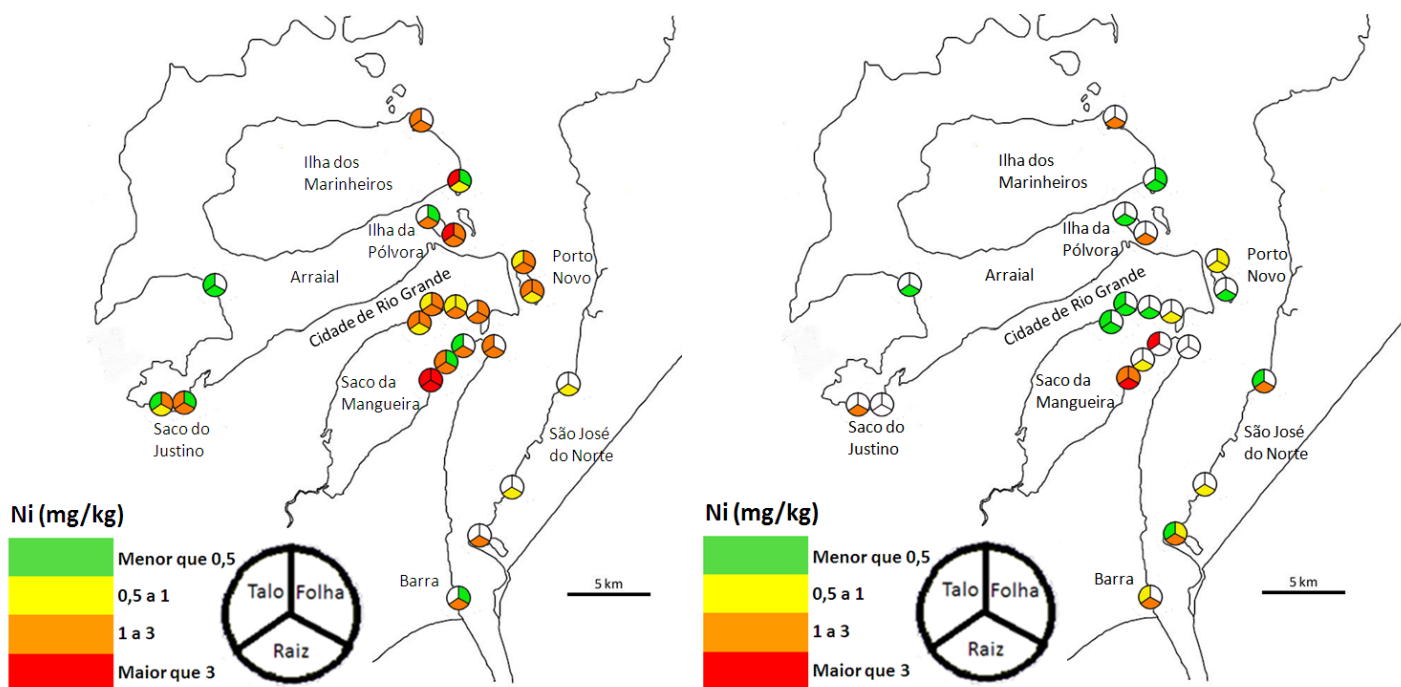


Figura 23. Mapa de distribuição de níquel nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

O níquel apresentou distribuição com bastante variação entre coletas. Grande parte das amostras tiveram teores deste metal próximos à mediana, mas também com alguns pontos acima desta na primeira coleta, principalmente no Saco da Mangueira. Na

segunda coleta a ocorrência deste metal foi menor, não tendo sido detectado nos talos e folhas na maioria dos pontos. O ponto com maior ocorrência de Ni nas duas coletas foi o P6, na margem industrial do Saco da Mangueira (P6), que também foi o ponto de maior concentração deste metal nos sedimentos. Apesar de ter sido verificado valores não detectáveis para esse metal, quando houve um aumento significativo nos sedimentos, também verificou-se um maior valor nas raízes.

A distribuição de mercúrio foi semelhante nas duas coletas e a maioria dos pontos analisados teve concentrações próximas a mediana. Apenas alguns pontos com concentração acima da mediana, no Saco da Mangueira, Saco do Justino, Ilha dos Marinheiros, Barra e São José do Norte.

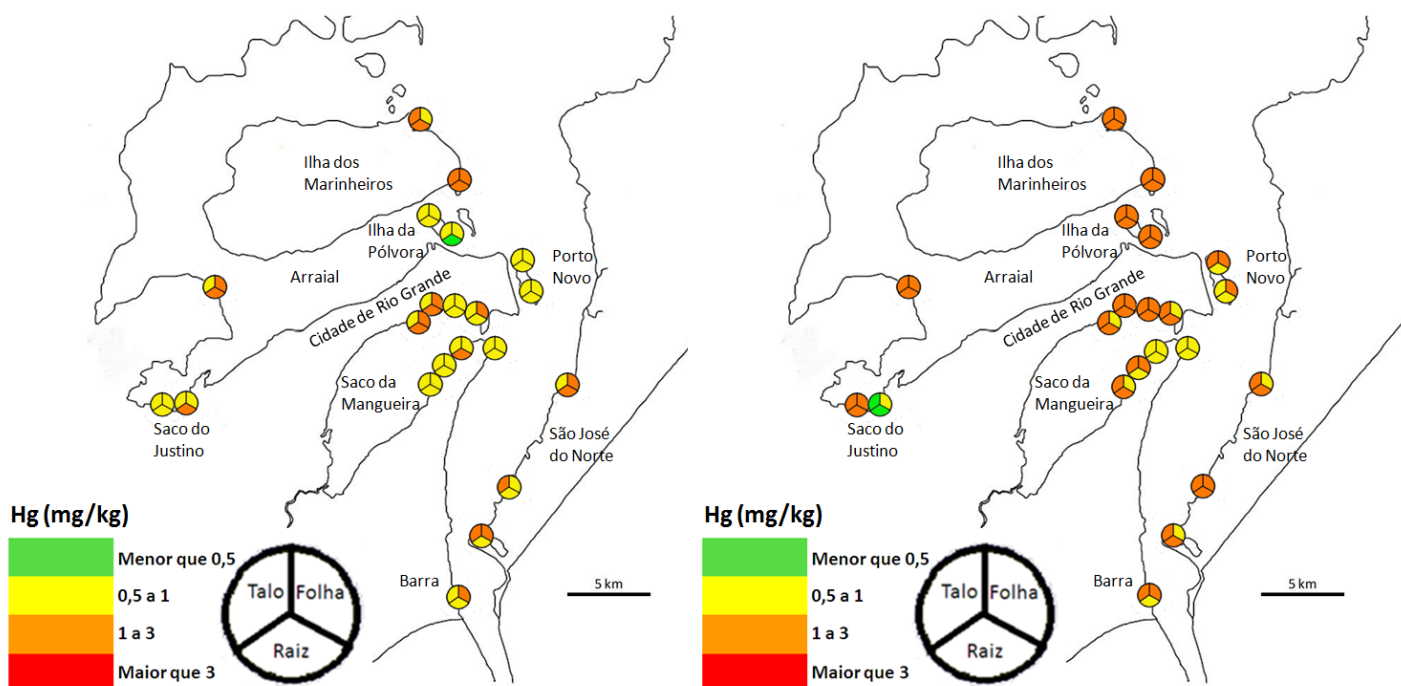


Figura 24. Mapa de distribuição de mercúrio nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

A ocorrência de zinco se manteve próxima da mediana ao longo da área estudada, com alguns pontos de concentrações pouco elevadas em relação a mediana ao longo da região industrial e portuária do estuário. O ponto de maiores concentrações também foi no bordo industrial do Saco da Mangueira (P6), onde os teores de zinco ultrapassaram 3 vezes o valor da mediana em raízes e folhas, nas duas coletas.



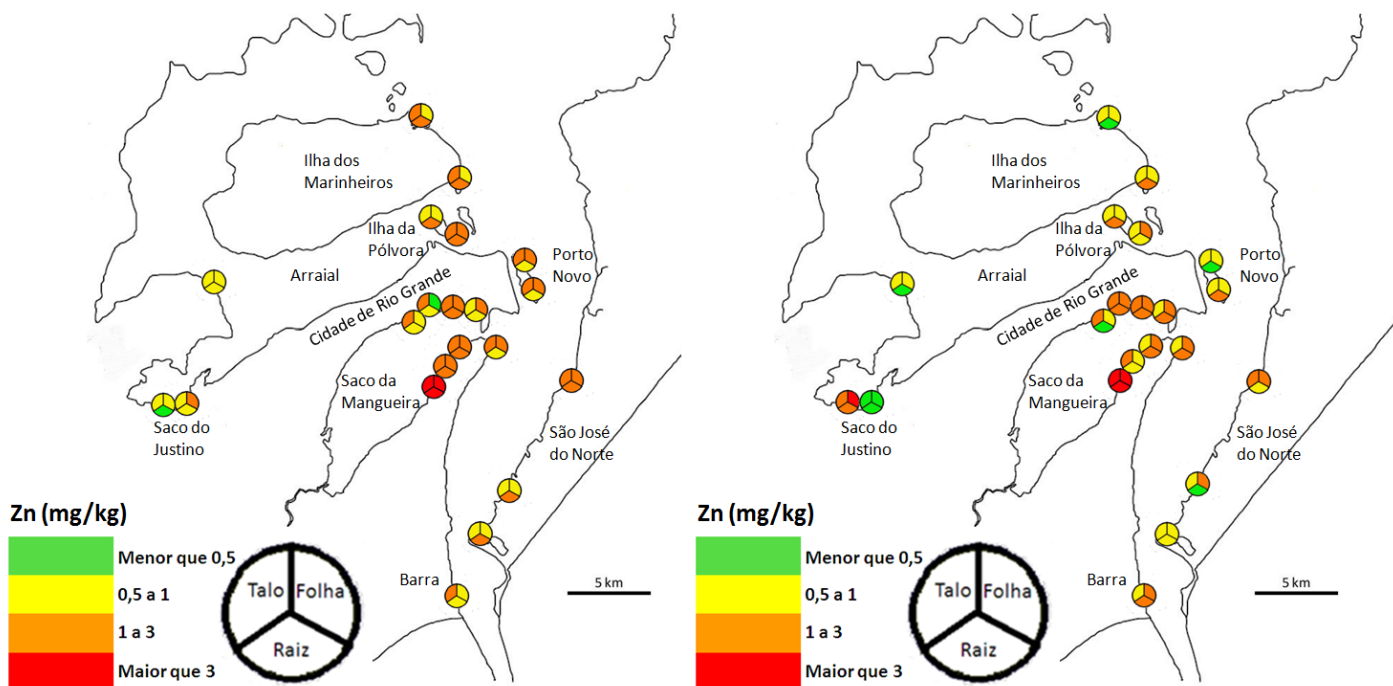


Figura 25. Mapa de distribuição de zinco nas raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* na área de estudo. À esquerda a primeira coleta, e à direita a segunda coleta.

#### 4.8. Matriz de correlação

A Tabela 11 mostra a matriz de correlação entre as variáveis analisadas nos sedimentos, onde estão indicadas as correlações consideradas significativas ( $P < 0,05$ ) e altamente significativas ( $P < 0,01$ ) estão indicadas.

Os valores mais elevados dos coeficientes de correlação dos parâmetros analisados nos sedimentos foram entre os pares Pb-Cu e Ni-Cr. Esses resultados destacam a grande relação estatística entre esses metais e indicam que esses dois pares de metais tem um comportamento semelhante na área de estudo.

O Zn apresentou correlação altamente significativa com Cu, Pb, Hg, Ni, Cr e As. A correlação do Zn com a maior parte dos metais é interpretado como sendo o resultado da presença desse elemento na maior parte de efluentes cloacais, pluviais e industriais.

Tabela 11. Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros investigados nos sedimentos.

	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As	Cd	Hg	COT	N	pH	Eh	Silte	Argila	Areia
<b>Pb</b>	0,98**	1													
<b>Ni</b>	0,08	0,01	1												
<b>Cr</b>	0,06	-0,01	0,82**	1											
<b>Zn</b>	0,74**	0,69**	0,56**	0,54**	1										
<b>As</b>	0,60**	0,63**	0,2	0,18	0,55**	1									
<b>Cd</b>	0,02	0,03	0,2	0,24	0,29	0,49**	1								
<b>Hg</b>	0,58**	0,54**	0,35*	0,49**	0,72**	0,29	0,07	1							
<b>COT</b>	0,16	0,15	0,12	0,12	0,12	-0,01	-0,04	0,21	1						
<b>N</b>	0,26	0,29	0,06	0,07	0,25	0,14	0,05	0,26	0,74**	1					
<b>PP</b>	-0,01	-0,04	0,08	0,28	-0,01	0,07	-0,14	0,07	0,09	0,17	1				
<b>Eh</b>	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,07	-0,05	0,22	-0,05	-0,11	-0,17	-0,2	1			
<b>Silte</b>	-0,17	-0,19	-0,12	-0,16	-0,26	0,01	-0,19	-0,29	-0,39*	-0,44**	0,07	-0,29	1		
<b>Argila</b>	-0,17	-0,2	-0,01	-0,06	-0,21	-0,07	-0,26	-0,25	-0,28	-0,41**	0,06	-0,28	0,88**	1	
<b>Areia</b>	0,18	0,2	0,08	0,13	0,25	0,02	0,22	0,29	0,36*	0,44**	-0,06	0,3	-0,98**	-0,95**	1
<b>P</b>	0,14	0,15	-0,1	-0,13	0,28	0,12	0,26	0,1	-0,07	0,37*	-0,12	0,06	-0,21	-0,3	0,25

\*\* p&lt;0.01.

\* p&lt; 0.05.

O Cd apresentou correlação significativa apenas com As. Essa correlação pode indicar fontes comuns provavelmente oriundas dos efluentes das industriais de fertilizantes e pesticidas, que são conhecidas pelo impacto nesses dois elementos (SALOMONS & FORSTNER, 1984).

Além de Cd e Zn, e o As também apresentou correlação significativa com Cu e Pb. O mercúrio apresentou correlação altamente significativa, além do zinco, com Cu, Pb e Cr, e significativa com Ni. As frações silte e argila apresentaram correlação altamente significativa entre elas, e também apresentaram correlação negativa com areia.

O COT apresentou correlação significativa e negativa com silte e areia, já o N teve correlação altamente significativa com as frações silte, argila e areia e também com COT, e significativa com P. A forte associação estatística entre a fração areia e a matéria orgânica, indicada pelos parâmetros COT e N, mostra a importância do material detritico orgânico essencialmente vegetal que é fixado pela comunidade de *S. alterniflora* nas margens lagunares juntamente com as partículas sedimentares tamanho areia.

Para *S. alterniflora* também foi analisada a correlação entre os metais analisados e a matriz de correlação é apresentada na tabela 12. As correlações foram classificadas em altamente significativas ( $P < 0,01$ ) e significativas ( $P < 0,05$ ).

Tabela 12. Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros analisados nas plantas

	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Zn</b>
<b>Pb</b>	0,16	1,00					
<b>Ni</b>	0,87**	-0,05	1,00				
<b>Cr</b>	0,87**	-0,04	0,99**	1,00			
<b>As</b>	-0,10	-0,06	-0,11	-0,12	1,00		
<b>Cd</b>	0,69**	0,21	0,67**	0,65**	-0,05	1,00	
<b>Zn</b>	0,90**	-0,03	0,95**	0,92**	-0,11	0,73**	1,00
<b>Hg</b>	0,46**	0,03	0,47**	0,51**	-0,03	0,33*	0,42**

\*\*  $p < 0,01$ .

\*  $p < 0,05$ .

O cobre apresentou correlação altamente significativa com Ni, Cr, Zn, Cd e Hg. O mercúrio apresentou correlação significativa com Cd e altamente significativa com Ni, Cr e Zn, além do Cu. E níquel também apresentou correlação altamente significativa com Cr, Zn e Cd. Além das correlações já citadas, o Cr teve correlação altamente significativa com Zn e com Cd, este último que também apresentou correlação altamente significativa com Zn. Os metais que apresentaram correlações altamente significativas tem comportamento semelhante em relação ao processo de incorporação de metais dos sedimentos pelas raízes.

Já o arsênio e o chumbo não apresentaram correlação com nenhum dos metais analisados, evidenciando que para estes elementos o processo de incorporação ocorre de maneira diferenciada dos demais.

#### 4.9. Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais foi utilizada com o objetivo de reunir as informações às vezes dispersas no estudo de correlação e ao mesmo tempo para melhor analisar as inter-relações da totalidade das variáveis. Através de uma ACP são extraídos os fatores que agrupam um novo conjunto de variáveis sintéticas, o que permite uma análise global do conjunto de dados e variáveis, diminuindo, assim, o número de variáveis.

### ACP nos sedimentos

Nessa análise estatística foram selecionados apenas os fatores que contribuíram com peso acima de 10% da variância da amostra, considerados significativos para a explicação da variância total. Para os parâmetros dos sedimentos foram selecionadas 3 componentes principais, que explicam juntos 60% da variância total.

Uma vez que os comportamentos dos elementos foram muito semelhantes nas duas coletas, optou-se pelo uso da análise dos dados das duas coletas juntas.

A primeira componente principal foi constituída pelos metais Pb, Cu, Zn, As e Hg. A segunda componente é constituída positivamente pela areia e nitrogênio, e negativamente pelo silte e argila. Já a terceira componente agrupou os metais Ni e Cr (Tab. 13), indicando que estes parâmetros tiveram comportamento semelhante de distribuição e em relação aos demais semelhantes.

Tabela 13. Variáveis associadas a cada componente principal e a contribuição na variância total na Análise de Componentes Principais

<b>Componente Principal</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>%Variância</b>
CP1	Pb, Cu, Zn, As, Hg	30,15
CP2	Areia, Silte, Argila e N	17,6
CP3	Ni, Cr	12,58

Na Figura 26 é possível observar a interação das três CPs e consequente discriminação das variáveis em grupos de comportamento similar. Na projeção percebe-se claramente que Ni e Cr pertencem a um grupo diferente, indicando que estes metais apresentaram variação comum, evidenciando comportamento semelhante na área de estudo. Também se observa que o nitrogênio, apesar de fazer parte da CP2, não se agrupa às frações granulométricas areia, silte e argila no gráfico, indicando que estas frações tem maior significância na CP.

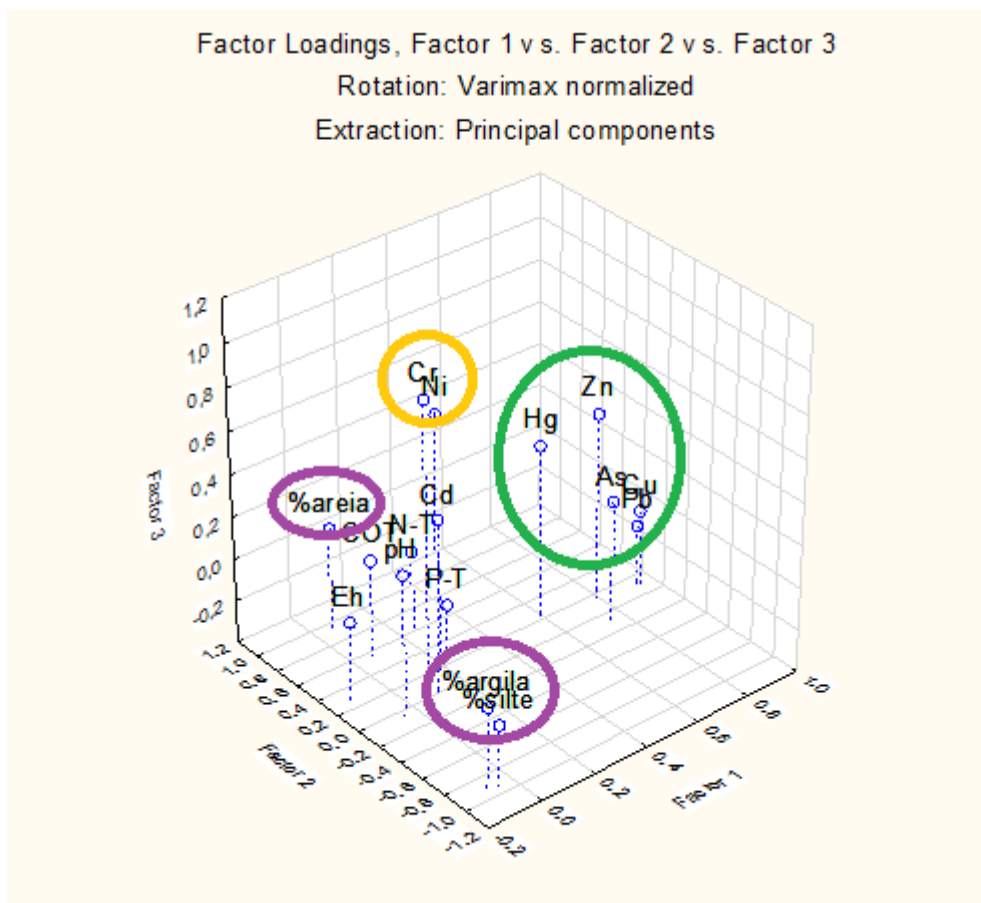


Figura 26. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.

A areia aparece em lado oposto as frações silte e argila, pois ocorre fixação dos sedimentos mais grosseiros nas margens devido ao efeito físico da vegetação. Verifica-se que a fração areia se situa no mesmo polo da ACP que a maior parte dos metais mas em setores diferentes. Esse resultado é provavelmente o reflexo da retenção de partículas grosseiras (areia) e de contaminantes metálicos pelos sedimentos das zonas costeiras pela *Spartina*, apesar da areia não ter relação direta com os teores metálicos.

O comportamento semelhantes dos metais Zn, Cu, Pb e Hg pode indicar contaminação por efluentes cloacais, uma vez que Cu e Zn são indicativos desta fonte, e Pb e Hg possuem fontes atmosféricas na região de estudo e, ao serem lixiviados, também ocorrem nos esgotos domésticos. A correlação entre Zn e Cu também se deve as atividades portuárias existentes na região.

### ACP nas plantas

Assim como na análise de componentes principais nos sedimentos, nas plantas também optou-se por unir as duas coletas, e foram selecionados apenas os fatores que

contribuíram com peso acima de 10%, considerados significativos para a explicação da variância total. Assim, foram selecionados 3 componentes principais, que representam juntas 83% da variância total da amostra.

Para a análise de componentes principais dos parâmetros analisados na *S. alterniflora*, optou-se pelo uso dos resultados obtidos nas análises das raízes, já que talo e folha apresentaram muitos valores não detectados, o que poderia interferir na análise de componentes principais.

A primeira componente agrupou os metais Cu, Ni, Cr, Zn e Cd. As segunda e terceira componentes foram constituídas por apenas um elemento, sendo o Pb na segunda e o As na terceira.

Tabela 14. Variáveis associadas a cada componente principal e a contribuição na variância total na Análise de Componentes Principais

<b>Componente Principal</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>%Variância</b>
CP1	Cu, Ni, Cr, Zn, Cd	57,57
CP2	Pb	13,76
CP3	As	12,25

A separação dos grupos de parâmetros de comportamentos semelhantes pode ser visto na figura 27, que apresenta a projeção tridimensional dos fatores 1, 2 e 3.

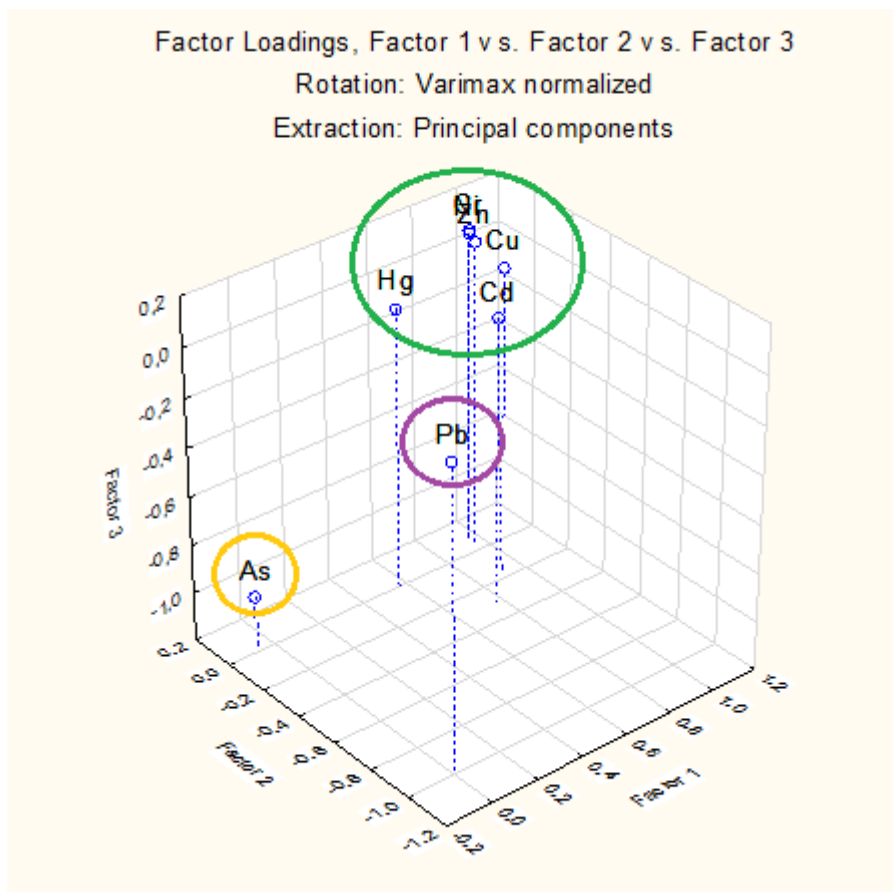


Figura 27. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.

Na projeção tridimensional das componentes 1, 2 e 3, percebe-se claramente a separação dos 3 grupos. É também possível separar subgrupos dentro da CP1, uma vez que fica evidente o comportamento muito semelhante dos metais Cr e Ni, que também foi constatada nos sedimentos. Além disto, percebe-se que o Hg, apesar de estar representado na CP1, foi projetado mais afastado dos outros metais, mostrando que a significância deste na CP é menor que os demais, ou seja, seu comportamento difere um pouco dos demais.

A localização diferenciada do As e do Pb em relação aos demais metais indica que esses metais tem comportamento diferenciado em termos de incorporação pelas raízes dos elementos metálicos.

A fim de comparar os resultados da ACP das plantas com a ACP dos sedimentos, foi realizada análise somente dos metais analisados nos sedimentos, de modo a excluir parâmetros que poderiam modificar a distribuição dos metais na ACP. Nas duas análises foram selecionados 3 componentes principais, que separaram grupos diferentes dos metais analisados.

Tabela 15. Variáveis associadas a cada componente principal nas raízes de *S. alterniflora* e nos sedimentos analisados

	<b>Raízes</b>	<b>Sedimento</b>
CP1	Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Hg	Cu, Zn, Hg, Pb e As
CP2	Pb	Ni, Cr
CP3	As	Cd

Na projeção 3D das variáveis nos 3 fatores selecionados (Fig. 28) pode-se comparar os agrupamentos de elementos de comportamentos semelhantes nas raízes e nos sedimentos.

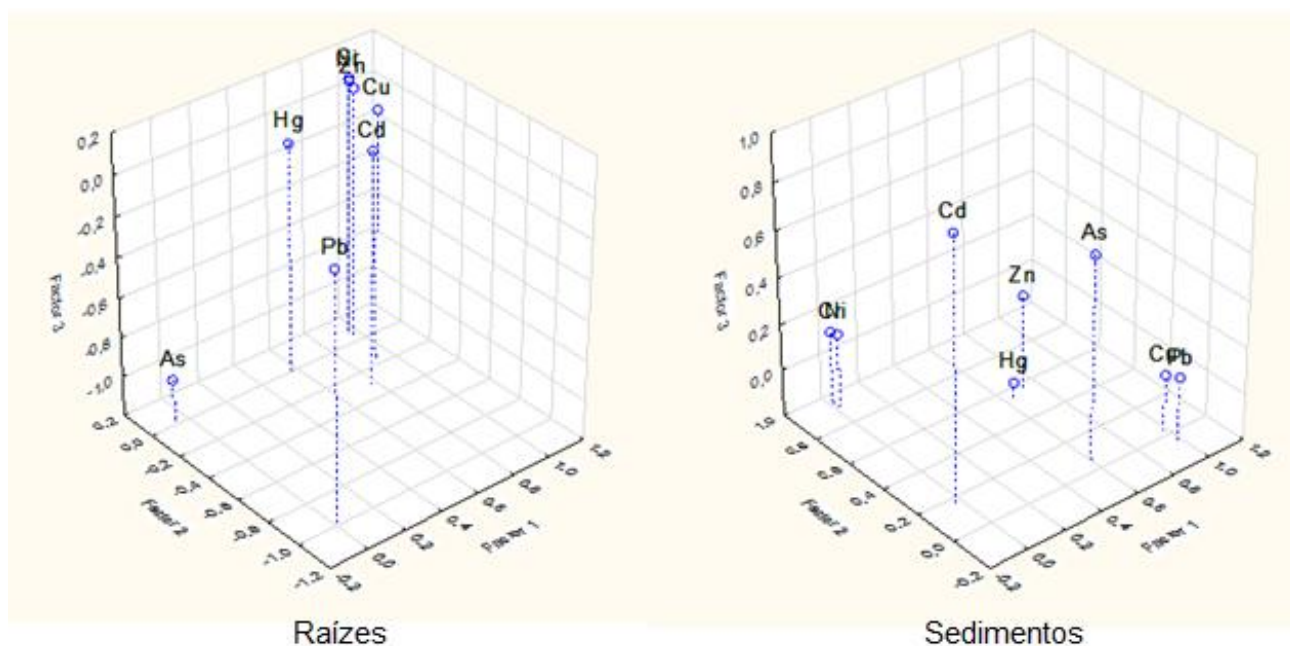


Figura 28. Projeção tridimensional das variáveis nos fatores 1, 2 e 3 extraídas da análise de componentes principais. Rotação varimax dos eixos de referência.

Apesar do agrupamento das variáveis ter ocorrido de maneira diferente nos sedimentos e na *S. alterniflora*, algumas semelhanças podem ser identificadas pela ACP. O níquel e o cromo aparecem agrupados nas duas análises, indicando que possuem comportamentos muito semelhantes tanto nos sedimentos como nas raízes. Nas duas análises o mercúrio apareceu agrupado a outros metais na CP1, no entanto ele contribui pouco para a variância da componente principal que ele faz parte, ficando um pouco separado dos demais na projeção tridimensional.

Nas raízes o arsênio compõe sozinho uma componente principal e no sedimento ele aparece agrupado a outros metais, no entanto, no gráfico é possível perceber que este



metal aparece separado dos demais, indicando que tem comportamento um pouco diferente dos outros metais analisados.

As principais diferenças entre as duas análises foi referente aos metais Cd e Pb. O cádmio apareceu isolado em uma CP no sedimento, indicando comportamento bastante diferenciado dos demais. Já o chumbo compôs uma CP separada nas plantas, e no sedimento teve comportamento semelhante a outros metais, principalmente o cobre, o que pode ser resultado da grande acumulação deste metal nas raízes dos pontos 1 e 17, localizados em regiões pesqueiras da cidade.

#### **4.10. Coeficiente de Distribuição**

Na tabela 16 são apresentados os coeficientes de distribuição (kd) obtidos a partir das relações entre as concentrações dos metais nos compartimentos estudados (sedimento/raiz, raiz/talo e talo/folha), o que representa o fator de transferência de um segmento para outro. O enriquecimento de um segmento em relação a outro ocorre quando os valores de kd são menores que 1, e para valores maiores que 1 ocorre o processo contrário. A fim de melhor analisar a translocação de metais entre os segmentos analisados, foi calculada também a porcentagem de valor menores que 1, mas que ficaram entre 1 e 0,5.

Foi calculado o kd das raízes em relação aos sedimentos, que indica o fator de incorporação dos metais pelas raízes, que foi admitido como o fator de incorporação dos metais pela *S. alterniflora*. Contudo deve-se considerar os limites desses cálculos visto que há possibilidade de incorporação de metais através das folhas, apesar desse processo ser relativamente pequeno em relação as raízes. Por outro lado, o processo biológico de enriquecimento das raízes pode ser maior do que os valores encontrados nesse estudo, pois a fração lábel dos metais é normalmente inferior a fração total analisada.

Tabela 16. Frequência em porcentagem do coeficiente de distribuição (kd) dos elementos metálicos das raízes, talos e folhas de *S. alterniflora* em três classes de valores: kd < 0,5; kd 0,5 a 1 e kd > 1 (n= 42).

Classes (kd)	Cu			Pb			Ni			Zn		
	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F
< 0,5	31	0,0	7,2	21,4	4,7	11,9	16,7	7,1	16,7	90,5	0,0	0,0
0,5 a 1	50	2,4	9,5	42,9	2,4	33,3	0,0	0,0	11,9	9,5	9,5	14,3
> 1	19	97,6	83,3	35,7	92,9	54,8	83,3	92,9	71,4	0,0	90,5	85,7
Classes (kd)	Cr			Cd			As			Hg		
	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F	S/R	R/T	T/F
< 0,5	4,7	0,0	4,8	78,6	4,7	11,9	16,6	50	92,9	14,2	9,5	19,1
0,5 a 1	2,4	0,0	0,0	9,5	2,4	28,6	28,6	2,4	0,0	31	16,7	35,7
> 1	92,9	100	0,0	11,9	92,9	59,5	54,8	47,6	7,1	54,8	73,8	45,2

A partir da análise destes coeficientes, percebe-se que há enriquecimento dos teores dos metais Cu, Pb, Zn e Cd nas raízes em relação aos sedimentos em mais de 50% pontos analisados. Já para Ni e Cr houve diluição dos teores destes metais do sedimento para a raiz em quase 100% dos pontos analisados. Observa-se também que a maioria dos valores menores que 1 para Cu, Pb, As e Hg ficaram entre 1 e 0,5, indicando que estes metais são translocados para a raiz mas os valores na raízes não excedem muito os valores dos sedimentos.

A distribuição dos metais entre os segmentos de *S. alterniflora* ocorreu com diluição dos teores da raiz para o talo em quase 100% das amostras para os metais Cu, Pb, Ni, Zn, Cr e Cd. Em alguns pontos os teores dos metais Cu e Zn foram maiores no talo do que na raiz, o que indica um importante processo de translocação. Mesmo assim, os valores de kd foram maiores que 0,5 mostrando que o enriquecimento no talo é relativamente pequeno. Os teores de mercúrio foram mais elevados nas raízes em mais de 70% dos pontos analisados. Já para arsênio ocorreu um comportamento diferenciado dos outros metais analisados, uma vez que em 52% das amostras analisadas houve enriquecimento no talo em relação as raízes. Como o As não é um elemento essencial para o metabolismo vegetal, a sua incorporação é pequena, e sua translocação é maior pois esse metal estaria relativamente móvel a uma menor ligação com os tecidos vegetais, facilitando um descarte mais efetivo pela *S. alterniflora*.

Em relação ao coeficiente talo/folha houve diluição dos teores de Cu, Pb, Ni, Zn, Cr e Cd na maioria dos pontos analisados. Já para mercúrio houve enriquecimento dos teores destes metais nas folhas em 55% das amostras analisadas. Também verificou-se enriquecimento de arsênio em 92% das amostras investigadas nesse estudo. Dos pontos

onde foi percebido enriquecimento dos teores nas folhas, os metais Cu, Pb, Zn, Cd e Hg apresentaram a maioria dos pontos entre 0,5 e 1. O enriquecimento de As e Hg nas folhas em relação ao talo pode indicar algum processo de incorporação desses dois metais devido as suas fontes atmosféricas no estuário da Lagos dos Patos.

O estudo do kd mostrou que há grande enriquecimentos dos teores de metais do sedimento para as raízes de *S. alterniflora*, principalmente dos elementos Zn, Cu e Cd. Já os metais Ni e Cr não são translocados através das estruturas da *Spartina*. A translocação raiz-talo é bastante reduzida, sendo predominante apenas para o arsênio. Houve enriquecimento nas folhas em relação aos talos para Cd, Pb, Hg e principalmente As, indicando que a acumulação destes elementos nas folhas ocorrem devido à fontes atmosféricas destes metais na área de estudo.

## 5. Considerações referentes à Gestão

A Zona Costeira brasileira é composta por significativa diversidade de ambientes, muitos deles extremamente frágeis, com acentuado processo de degradação gerado pela crescente ocupação desse espaço, como recifes e corais, praias, manguezais e marismas, campos de dunas e falésias, baías, estuários, planícies intermarés etc. Dentre os efeitos antrópicos mais significativos nesta região estão aqueles associados aos vetores de desenvolvimento e pressão, como a atividade portuária, petrolífera, química, aquicultura, pecuária, pesca, agricultura, turismo, desenvolvimento urbano, dentre outras, que, associadas ao crescimento populacional, ocasionaram mudanças ambientais significativas. Outra característica marcante nas zonas costeiras de todo o mundo e também no Brasil é a concentração industrial, que se desenvolve nas regiões metropolitanas e que prescinde de uma rede de transportes estrategicamente assentada ao longo do litoral para o escoamento da produção. Esse fator torna-se relevante à medida que a estrutura produtiva industrial concorre por espaços já demandados por outras atividades, o que contribui sobremaneira para agravar o risco ambiental em certas áreas (MMA, 2008).

O Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) pode ser definido como um processo contínuo e dinâmico pelo qual decisões são tomadas visando o uso sustentável, desenvolvimento e proteção das áreas marinhas e costeiras e seus recursos. As metas do Gerenciamento Costeiro Integrado são atingir o desenvolvimento sustentável de áreas marinhas e costeiras, reduzir a vulnerabilidade das áreas costeiras e seus habitantes aos riscos naturais, e manter os processos ecológicos essenciais, os sistemas de suporte a vida e a diversidade biológica nas áreas marinhas e costeiras (ASMUS *et al.*, 2006).

Assim, o conhecimento dos níveis de base da região passa a ser um componente fundamental para a gestão destes ambientes costeiros sob forte pressão da ocupação humana e atividades industriais.

A caracterização da contaminação por metais pesados dos sedimentos e marismas destes 21 pontos do estuário é importante do ponto de vista do zoneamento da área, identificando locais menos poluídos e que devem ser preservados, uma vez que a área de estudo é uma região que está em plena expansão industrial e naval, e é justamente nessas áreas de margem do estuário que as empresas buscam se instalar.

A FURG possui trabalhos de replantio de espécies para recuperação de marismas no estuário, trabalho de grande valia devido à importância e às funções ambientais deste

sistema. No entanto, visto que os resultados presentes neste trabalho mostram que a *Spartina alterniflora* tem grande capacidade de absorção de alguns metais pesados, é necessário considerar a contaminação do local onde estas plantas serão replantadas, uma vez que, estando em local contaminado, estas podem ser fontes de metais para a cadeia trófica. No entanto, para esta avaliação, seriam necessários estudos para avaliação das transferências de metais ao longo da cadeia trófica, nos quais a *S. alterniflora* também poderia ser utilizada. Por outro lado, a capacidade de absorção de metais também possibilita a utilização desta espécie em trabalhos de biorremediação de solos contaminados.

Atualmente o Brasil possui um programa estruturado nacionalmente e implantado desde 1987 como “Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO)” pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), contando com uma base legal fundamentada na Lei Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei 7.661/88) que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, atualmente em sua segunda versão – PNGC II (SCHERER *et al.*, 2009), e nele constam instrumentos para as ações de gestão da qualidade ambiental. Alguns destes instrumentos são o Diagnóstico Socioambiental da área, o Sistema de Monitoramento Ambiental (SMA) e, a partir deste último, os Relatórios de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA). No Rio Grande do Sul não é feito o Monitoramento e, conseqüentemente, também não há Relatório de Qualidade, portanto trabalhos de caracterização da área são de extrema importância para que sejam realizadas ações de gestão e os resultados destas ações possam ser avaliadas.

Além da caracterização da área, a espécie utilizada neste estudo também tem potencial para monitoramento de ambiental, podendo ser utilizada em programas de monitoramento de dragagens e também de instalação de empreendimentos, uma vez que é um biomonitor de longo prazo, o que a capacita para estudos de mapeamento da contaminação.

## 6. Conclusão

A partir da análise de amostras de sedimentos de 21 pontos do estuário da Lagoa dos Patos foi possível perceber que há um processo de contaminação por metais, visto que os valores são elevados em relação aos níveis de referência. Apenas cromo e mercúrio não apresentaram teores de metais acima do nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA, e os elementos que apresentaram maior quantidade de amostras com teores acima do valor de referência foram: Pb, Cu e As.

De acordo com a análise das amostras de *Spartina alterniflora* foi possível concluir que esta é capaz de absorver os metais Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Cd, As e Hg, sugerindo que esta espécie pode ser utilizada como bioindicadora de contaminação metálica.

Esta espécie absorve metais principalmente nas raízes, mostrando que raiz é mais indicada no estudo de contaminação por metais. Os metais também foram acumulados nas partes aéreas da planta com exceção do cromo, que não foi detectado no talo.

O metal com as mais altas concentrações nas diferentes partes da planta foi o zinco. Os maiores valores médios nas plantas foram de zinco, no entanto, o valor mais alto detectado foi de chumbo na raiz. O chumbo também apresentou grande acumulação nas folhas de *S. alterniflora*.

O estudo do coeficiente de distribuição (kd) mostrou que há grande enriquecimento dos teores de metais do sedimento para as raízes de *S. alterniflora*, principalmente dos elementos Zn, Cu e Cd. Já os metais Ni e Cr não são translocados através das estruturas da *Spartina*. A translocação raiz-talo é bastante reduzida, sendo predominante apenas para o arsênio. Houve enriquecimento nas folhas em relação aos talos para Cd, Pb, Hg e principalmente As, indicando que a acumulação destes elementos nas folhas ocorrem devido à fontes atmosféricas destes metais na área de estudo.

Os níveis mais altos de metais foram detectados no Saco da Mangueira, onde ocorre descarga de efluentes domésticos e industriais da cidade de Rio Grande. É nesta região que está localizado o Distrito Industrial da cidade, indicando que as indústrias – principalmente as indústrias de fertilizantes – são a principal fonte poluidora nesse ambiente.

A caracterização deste ambiente é de extrema importância como conhecimento de base, para que, quando tomadas ações de gestão, os resultados destas possam ser avaliadas, além de identificar locais menos poluídos e que devem ser preservados, uma vez que a área de estudo é uma região sobre forte pressão da ocupação humana e atividades industriais, em plena expansão industrial e naval.

## 7. Referências Bibliográficas

ABREU, P.C.; COSTA, C.S.B.; BEMVENUTI, C.; ODEBRECHT, C.; GRANÉLI, W.; ANÉSIO, A.M.. Eutrophication Processes and Trophic Interactions in a Shallow Estuary: Preliminary Results Based on Stable Isotope Analysis (<sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N). **Estuaries and Coasts.**, vol. 29(2): p.277-285. 2006.

ALBERTS, J.J.; PRICE, M. T.; KANIAA, M. Metal Concentrations in Tissues of *Spartina alterniflora* (Loisel.) and Sediments of Georgia Salt Marshes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** vol. 30, p. 47-58. 1990.

ASMUS, M.L.; KITZMANN, D. Gestão costeira no Brasil: estado atual e perspectivas. Programa de Apoyo a la Gestion Integrada en la Zona Costera Uruguay, EcoPlata 2004:63.

ASMUS, M. L.; KITZMANN, D.; LAYDNER, C.; TAGLIANI, C.R.A. Gestão Costeira no Brasil: Instrumentos, fragilidades e potencialidades. Gerenciamento Costeiro Integrado, Itajaí - Santa Catarina, n. 4, p. 52-57, 2006.

BAISCH, P. Les oligo-éléments métalliques dans les sédiments de la Lagune dos Patos. Mémoire de l'Océanologie, Université de Bordeaux I. 1987. 62p. 1987.

BAISCH, P. Geoquímica dos Sedimentos do Estuário da Laguna dos Patos - Elementos metálicos e matéria orgânica. Relatório Técnico Final. Setor de Geoquímica. EIA/RIMA DEPRC. 52p. 1997.

BAISCH, P.R. Caracterização da Qualidade dos Sedimentos da Área de Dragagem do Porto da Cidade de Rio Grande. Porto Novo, Canal de Acesso, Superporto e Molhes. SUPRG. Superintendência do Porto da Cidade de Rio Grande. LOG/DEGEO/FURG. 2000. 39 p.

BAISCH, P.R.; MIRLEAN, N. Relatório de Impacto Ambiental do Despejo de Ácido Sulfúrico do Navio Bahamas. Estudo da Geoquímica dos Sedimentos (elementos metálicos e compostos orgânicos) da Região de Impacto do Despejo de Ácido no Estuário da Laguna dos Patos. Região Portuária da Cidade de Rio Grande. Contrato FEPAM/FURG. 1998. 17 p.

BARBOSA, F.G. Variações espaciais e temporais de nutrientes dissolvidos e metais traço na área portuária da cidade do Rio Grande (Estuário Lagoa dos Patos - RS). Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS. 2006. 150p.



BEEFTINK, W.G.; NIEUWENHUIZE, J.; STOEPLER, M.; MOHL, C. Heavy-metal accumulation in salt marshes from the western and eastern Scheldt. **The Science of the Total Environment**, vol. 25. 199--223. 1982.

BONILHA, L.E.; ASMUS, M.L. Modelo ecológico do fitoplâncton e zooplâncton do estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Publicações da Academia de Ciências do Estado de São Paulo**, 87(1). p.347-362. 1994.

BREMMER, J. M. Total Nitrogen. *Agronomy*, 9: 1149-1178. 1965

CAÇADOR, I.; VALE, C.; CATARINO, F. Accumulation of Zn, Pb, Cu and Ni in sediments between roots of the Tagus estuary salt marshes, Portugal. **Estuarine Coastal and Shelf Science** vol. 42, p. 393–403. 1996.

CAÇADOR, I.; VALE, C.; CATARINO, F. Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in the root–sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portulacoides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research*, v. 49, ed. 3, 279-290. 2000.

CALLIARI, L.J. Características geológicas. In: U. SEELIGER, C. ODEBRECHT E J.P. CASTELLO (orgs.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. pp. 13-18. *Ecocientia*, Rio Grande, RS. 1998.

CASTELLO J.P. The ecology of consumers from dos Patos Lagoon estuary, Brasil. In: YANEZ-ARANCIBIA A, editor. Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: towards an ecosystem integration. Univ. Nac. Avt. Mex: Mexico, 1985. 654p [Chapter 17, p. 383–406]

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004.

CONCEIÇÃO, C. O. Contaminação dos aterros urbanos por metais pesados no município de Rio Grande - RS. Dissertação (Mestrado), FURG, CAPES. Rio Grande. 115 p. 2005.

COPERTINO, M.; COSTA, C. S. B.; SEELIGER, U. Dinâmica Populacional de *Spartina alterniflora* em Pântanos Salgados do Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS. In: Santos J.E. (Ed.). Anais do VIII Seminário Regional de Ecologia. Vol. 1, 12 a 15 de março de 1996. São Carlos, SP. 295-312. 1997.

COSTA, C. S. B. & DAVY, A. J., Coastal Saltmarsh Communities of Latin America. In: SEELIGER, U (ed.). Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, Nova Iorque: 157-177. 1992.

COSTA, C.S.B; MARANGONI, J.C. As Comunidades das Marismas. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações. . Rio Grande: FURG. 180p. 2010.

COSTA, C. S. B., SEELIGER U. & OLIVEIRA, C. P.L. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). **Revista Atlântica**, Vol. 19, p 51-66. 1997.

DOYLE, M. O.; OTTE, M. L. Organism-induced accumulation of Fe, Zn and AS in wetland soils. **Environmental Pollution** vol. 96, p.1–11. 1997.

FERNANDES, E.H. & ROSA, T. (Orgs.) 2011. Programa de Monitoramento Ambiental para o Canal de Acesso ao Porto de Rio Grande, Bacia de Evolução do Porto Novo e da Área de Descarte do Material Dragado. Relatório Anual 2010. Relatório Técnico, Universidade Federal do Rio Grande-FURG, 251pp.

FÖRSTNER, U. Metal speciation – general concepts and applications. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 51: 5-23. 1993.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 8, p.2020-2026, 2008.

GAUDETTE, H.; MULLER, G.; STOFFERS P. An Inexpensive Titration Method for the determination of organic carbon in recent sediments. **Jour. Sedim. Petrol.** 44(1). 249-253. 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=2036&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2036&id_pagina=1) de 5 de dezembro de 2011. Acesso em dezembro de 2011.

JACKSON, J. Heavy metals and other inorganic toxic substances. In: S. Matsui (Ed.), Toxic substances management in Lakes and Reservoirs, Guidelines of Lake Management. International Lake Environment Committee, Foundation & United Nations Environment Programme, p. 65-80, 196p. 1992.

KENNISH, M.J. Practical handbook of estuarine and marine pollution. Boca Ranton: CRC press, p. 253-325. 1997.

KRAUS, M. L. Accumulation and excretion of five heavy metals by the saltmarsh cordgrass *Spartina alterniflora*. **Bulletin of the New Jersey Academy of Sciences** v. 33, 39–43. 1988.

KRAUS, M. L., WEIS, P. & CROW, J. H. The excretion of heavy metals by the salt marsh cord grass, *Spartina alterniflora*, and *Spartina*'s role in mercury cycling. **Marine Environmental Research** v. 20, 307–316. 1986.

LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E.; SILVA, C. A. P.; WASSERMAN, J. C. Metallic composition of sediments from mangroves of the SE Brazilian Coast. **Biotropica** vol.22 n° 4: p 339- 345. 1990.

LACERDA, L.D., FREIXO J. L., COELHO, S. M. The Effect of *Spartina alterniflora* Loisel on Trace Metals Accumulation in Inter-Tidal Sediments. **Mangroves and Salt Marshes**. Vol. 1. p. 201-209. 1997.

LEE, C.R.; STURGIS, T.C.; LANDIN, M.C. Heavy metal uptake by marsh plants in hydroponic solution cultures. **Journal of Plant Nutrition**, v. 3, p. 139 – 151. 1981.

LIMA, N.R.W.; PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M. Ciclagem de metais pesados em bancos de *Spartina alterniflora* na Baía de Sepetiba, RJ. **Acta Limnol. Brasil**, vol 1, 317-340. 1986.

LIMA, G.T.N.P. Estudo dos hidrocarbonetos e metais pesados no sistema lagunar e estuarino de Tramandaí – RS. Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica. FURG, Rio Grande. 2004.

MARINS, R. V., LACERDA, L. D., GONÇALVES, G. O., DE PAIVA E. C.. Effect of Root Metabolism on The Post-Depositional Mobilization of Mercury in Salt Marsh Soils. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. Vol. 58, p 733-738. 1997.

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 11(4), p. 379-387. 2011.

MENDELSSOHN, I. A.; LIN, Q., 2003. Development of Bioremediation for Oil Spill Cleanup in Coastal Wetlands. U.S. Department of Interior, Minerals Management Office, Gulf of Mexico OCS Region, OCS Study, MMS 2002-048.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Fundação BIO-RIO, Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará , Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, Sociedade Nordestina de Ecologia. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeiras e marinhas. Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Brasília. 2002. 72 pp.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil – Brasília: MMA, 2008. 242 p.

MIRLEAN, N.; BAISCH, P.; MACHADO, I.; SHUMILIN, E. Mercury Contamination of Soil as the Result of Long-Term Phosphate Fertilizer Production Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. vol. 81(3), 305-308. 2008.

MONTAGNOLLI, W.,1999. Teor de Metais Pesados (Cu, Pb, Ni, Zn, Fe, Cr e Mn) em *Spartina alterniflora* do Estuário da Lagoa dos Patos – Rio Grande, RS. Monografia de Graduação. Fundação Universidade do Rio Grande. Rio Grande, RS.

NEVES, H.A.P. 1980. A importância do Porto do Rio Grande na economia do Rio Grande do Sul (1890-1930). Dissertação de Mestrado em História do Brasil, UFPR, Curitiba, 197p.

PADINHA, C.; SANTOS, R.; BROWN, M.T. Evaluating environmental contamination in Ria Formosa (Portugal) using stress indexes of *Spartina maritima*. **Marine Environmental Research**, vol. 49, p. 67-78. 2000.

PEZESHKI, S. R., HESTER, M. W., LIN Q., NYMAN, J. A., 2000. The Effects of Oil Spill and Clean-up on Dominant US Gulf Coast Marsh Macrophytes: a review. **Environmental Pollution**. Vol. 108. p 129-139.

PORTZ, L; MANZOLLI, R.P.; CORRÊA, I.C.S. Ferramentas de Gestão Ambiental Aplicadas na Zona Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 11(4), p. 459-470. 2011.

QUAN, W.M.; HAN, J.D.; SHEN, A.L.; PING, X.Y.; QIAN, P.L.; LI, C.J.; SHI, L.Y.; CHEN, Y.Q. Uptake and distribution of N, P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yangtze River estuary, China. **Marine Environmental Research**, vol. 64, p. 21–37. 2007.

RAHN, W. R. Jr. 1973 The role of *Spartina alterniflora* in the transfer of mercury in a salt marsh environment. MS. Thesis. Georgia Institute of Technology, 61 pp.

RANGEL, T. P.; MARQUES, J. S. J.; BRITO, F. P.; ARAÚJO, B. F.; ALMEIDA, M. G.; SALOMÃO, M. S. M. B.; REZENDE, C. E. Variação espacial nas concentrações de metais, carbono e nitrogênio em sedimentos da porção inferior e estuário interno do rio Paraíba do Sul, RJ. III Congresso Brasileiro de Oceanografia e I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia. Fortaleza (CE), 2008.

REBOREDA, R.; CAÇADOR, I.; PEDRO, S.; ALMEIDA, P.R. Mobility of metals in salt marsh sediments colonized by *Spartina maritima* (Tagus estuary, Portugal). **Hydrobiologia**, vol.606,p129–137. 2008

REBOREDA, R.; CAÇADOR, I. Copper, zinc and lead speciation in salt marsh sediments colonized by *Halimione portulacoides* and *Spartina maritima*. **Chemosphere**, vol. 69, p 1655–1661. 2007.

RUTTENBERG, K.C.; GONI, M.A. 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. **Marine Geology**, vol. 139(1-4), p.123-145. 1997

RUTTENBERG, K. C. Development of a Sequential Extraction Method for Different Forms of Phosphorus in Marine Sediments. **Limnology & Oceanography**. vol.37: p.1460-1482. 1992.

SALOMONS, W.; FORSTNER, U. 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin, 349p.

SANDERS, J. G. & OSMAN, R. W. 1985 Arsenic incorporation in a salt marsh ecosystem. **Estuarine and Coastal Shelf Science** v. 20, 387–392.

SCHERER, M. E. G.; SANCHES, M.; NEGREIROS, D. Gestão das Zonas Costeiras e as Políticas Públicas no Brasil: um diagnóstico. In: MUÑOZ, J.N.B.; GRANADOS, P.A.; RUIZ, J.A.C.; ONETTI, J.G.; SANABRIA, J.G. (Org.). Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamerica: un diagnóstico. Necesidad de Cambio. 1ª ed. Espanha: Red Ibermar (CYTED), 2009, v. 01, p. 291-330.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay variations. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa : Okla, 151-158p, 1954.

STEIN, C. E.; SAIKI, M.; BRAGA, E. S. *Spartina alterniflora* como macrofitoindicadora de qualidade ambiental em estuários – caso do complexo estuarino-lagunar de Cananéia/Iguape. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia - Oceanografia e Políticas Públicas. Santos, SP. 2011.

STRICKLAND, J. H. D.& PARSONS, T. **A Practical handbook of seawater analysis**. 2nd ed. Ottawa Bull: Canada, 1972. 167: 310p.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo : Edgard Blücher, 1973. 317p.

TEDESCO, M. J.; Gianello, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Boletim Técnico n. 5. Porto Alegre, 1995. Departamento de solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, Method 3050B, 1996.

VANZ, A.; MIRLEAN, N.; BAISCH P. Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica. **Quim. Nova**, vol. 26, nº. 1, p. 25-29. 2003.

WEIS J.S.; WEIS P. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. **Environment International**, vol. 30, p.685–700. 2004.

## 8. Anexos

Anexo 1. Valores de pH e Eh encontrados nos sedimentos dos 21 pontos analisados, na primeira e segunda coleta

Ponto	Coleta			
	1 <sup>a</sup>		2 <sup>a</sup>	
	pH	Eh	pH	Eh
1	6,66	-117	6,4	-291
2	6,54	-126	6,53	-146
3	6,64	-100	6,76	-161
4	6,4	-311	6,47	-199
5	6	-242	5,78	-147
6	6,84	-235	6,98	-111
8	6,9	-318	7,15	-351
9	7,02	-201	6,87	-328
10	6,67	-340	6,68	-174
11	6,89	-215	6,85	-186
12	6,87	-282	6,9	-195
13	6,94	-311	7,04	-263
14	6,47	-272	7,06	-314
15	6,74	-310	6,79	-359
16	6,8	-308	6,94	-353
17	6,56	-262	6,61	-228
18	6,45	-332	6,42	-272
19	6,72	-255	6,38	-288
20	6,73	-352	6,69	-330
21	6,92	-225	6,93	-350
22	7,43	-190	6,46	58

Anexo 2. Concentrações médias de Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total em 21 amostras de sedimento.

Ponto	COT (%)		N (ppm)		P (ppm)	
	1 <sup>a</sup> coleta	2 <sup>a</sup> coleta	1 <sup>a</sup> coleta	2 <sup>a</sup> coleta	1 <sup>a</sup> coleta	2 <sup>a</sup> coleta
1	2,496 ± 0,027	3,38 ± 0,069	6782,83 ± 14,32	4576,30 ± 36,81	8771,10 ± 747,89	1247,74 ± 144,60
2	1,145 ± 0,031	2,07 ± 0,006	2182,42 ± 3,07	2656,35 ± 41,44	8592,57 ± 449,56	774,76 ± 94,31
3	1,239 ± 0,035	1,66 ± 0,064	2483,41 ± 38,76	2354,29 ± 46,45	3423,52 ± 52,63	1252,10 ± 48,24
4	2,273 ± 0,042	2,82 ± 0,094	5584,27 ± 15,68	3582,37 ± 73,69	9528,39 ± 148,36	1747,62 ± 8,13
5	1,249 ± 0,008	2,17 ± 0,007	4016,59 ± 40,98	3851,41 ± 41,46	9076,85 ± 49,21	4159,47 ± 58,19
6	1,350 ± 0,009	3,51 ± 0,008	4689,90 ± 13,2	5244,23 ± 47,86	7515,85 ± 691,24	1974,13 ± 207,60
8	2,924 ± 0,033	5,04 ± 0,085	8324,20 ± 5,87	8726,74 ± 63,12	7251,48 ± 85,52	2966,84 ± 97,50
9	2,761 ± 0,022	3,48 ± 0,069	7940,30 ± 40,21	9310,87 ± 69,93	7426,79 ± 175,01	2551,71 ± 108,26
10	1,358 ± 0,004	1,76 ± 0,045	3369,88 ± 14,24	1848,23 ± 2,81	1372,56 ± 6,67	350,91 ± 38,48
11	0,929 ± 0,015	2,97 ± 0,228	2958,90 ± 2,09	3868,24 ± 4,45	6671,49 ± 103,87	1235,81 ± 168,72
12	0,576 ± 0,002	1,54 ± 0,026	1418,37 ± 2,99	1542,96 ± 41,93	4110,83 ± 91,65	857,78 ± 61,64

13	0,846 ± 0,071	1,20 ± 0,009	2454,92 ± 1,72	2427,82 ± 40,96	2561,07 ± 47,89	1516,52 ± 138,08
14	1,554 ± 0,026	1,45 ± 0,044	510,02 ± 0,36	3043,47 ± 18,36	6310,94 ± 47,11	1763,86 ± 165,81
15	1,224 ± 0,007	1,76 ± 0,018	4267,73 ± 5,99	3174,46 ± 23,29	5845,33 ± 34,07	2188,53 ± 3,09
16	1,551 ± 0,073	2,58 ± 0,054	2821,45 ± 1,63	3906,97 ± 45,77	1081,77 ± 100,61	1288,04 ± 39,037
17	2,696 ± 0,035	1,78 ± 0,042	7005,82 ± 4,94	4218,14 ± 7,27	5193,43 ± 98,42	2616,71 ± 119,07
18	1,397 ± 0,043	1,71 ± 0,041	2423,76 ± 45,79	2325,62 ± 2,67	373,90 ± 0,44	553,91 ± 13,71
19	1,945 ± 0,017	2,35 ± 0,033	5536,73 ± 7,81	5016,53 ± 50,74	6011,93 ± 59,69	2330,04 ± 225,53
20	1,771 ± 0,096	1,94 ± 0,023	3718,46 ± 5,24	2779,99 ± 40,39	3902,41 ± 46,3	1434,98 ± 244,78
21	1,100 ± 0,01	1,83 ± 0,044	2883,25 ± 6,09	2837,16 ± 48,29	3116,65 ± 10,5	1458,54 ± 72,94
22	1,615 ± 0,048	1,34 ± 0,060	4555,12 ± 6,42	2515,01 ± 52,95	5292,46 ± 82,07	771,377 ± 80,35

Anexo 3. Valores em porcentagem de areia, silte e argila, nas duas coletas. n=21

Primeira coleta				Segunda coleta			
Amostra	Areia	Silte	Argila	Amostra	Areia	Silte	Argila
1	99,31	0,00	0,69	1-2	98,70	0,20	1,10
2	84,15	11,50	4,35	2-2	96,20	0,00	3,80
3	95,22	3,76	1,02	3-2	96,78	0,60	2,62
4	93,54	3,89	2,57	4-2	99,37	0,00	0,63
5	100,00	0,00	0,00	5-2	100,00	0,00	0,00
6	96,51	2,44	1,05	6-2	95,81	0,80	3,39
8	99,43	0,57	0,00	8-2	100,00	0,00	0,00
9	99,66	0,34	0,00	9-2	100,00	0,00	0,00
10	77,45	15,18	7,37	10-2	84,09	11,48	4,43
11	81,43	10,09	8,48	11-2	81,75	9,85	8,40
12	70,21	23,40	6,40	12-2	75,96	13,85	10,19
13	93,03	4,61	2,36	13-2	92,37	5,70	1,93
14	98,36	0,58	1,06	14-2	99,31	0,10	0,59
15	91,01	5,27	3,72	15-2	84,90	7,93	7,17
16	84,30	7,41	8,29	16-2	87,83	8,81	3,36
17	98,96	0,66	0,38	17-2	98,09	1,33	0,58
18	64,53	21,92	13,55	18-2	81,46	9,16	9,38
19	97,17	0,00	2,83	19-2	99,63	0,00	0,37
20	51,18	28,54	20,28	20-2	76,39	13,48	10,13
21	89,74	5,99	4,27	21-2	91,67	4,12	4,21
22	98,72	0,10	1,18	22-2	98,92	0,55	0,53

Anexo 4. Níveis de Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg, expressos em mg/kg em 21 amostras de sedimento da 1ª coleta.

Ponto	Metais							
	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As	Cd	Hg
1	48,326	134,833	20,290	28,486	100,300	6,823	0,425	0,0640
2	24,633	34,176	9,144	12,891	53,063	3,197	0,295	0,0388
3	17,495	17,645	15,495	26,342	64,981	16,617	4,240	0,0093
4	24,338	25,887	16,442	22,389	95,602	4,007	1,009	0,0259
5	21,239	17,491	17,541	20,490	117,091	4,639	1,184	0,0183
6	18,148	46,245	28,347	38,096	206,179	10,970	2,073	0,0743
8	28,239	68,123	12,195	23,890	85,116	7,752	0,391	0,1081
9	19,448	31,397	17,448	24,548	64,994	5,912	0,147	0,0355
10	17,684	18,433	22,030	21,531	65,191	12,621	0,351	0,0188



11	17,086	18,935	12,140	16,437	59,053	9,245	0,210	0,0090
12	23,386	15,940	12,493	16,290	49,071	4,908	0,121	0,0146
13	20,983	16,787	16,137	21,083	65,498	5,278	0,043	0,0188
14	36,867	62,843	19,033	24,678	104,456	4,346	0,377	0,0411
15	46,786	83,325	20,894	28,042	143,357	3,913	0,425	0,0433
16	23,236	25,884	18,589	25,385	86,948	9,299	0,215	0,0269
17	222,261	769,492	17,343	21,991	266,718	23,476	0,615	0,1371
18	14,593	12,244	15,192	21,539	57,171	3,231	0,024	0,0182
19	20,792	22,941	14,844	22,141	64,024	3,321	0,087	0,0150
20	25,890	19,392	16,693	21,591	72,221	4,920	0,048	0,0114
21	26,689	52,879	14,794	23,041	71,921	5,767	0,131	0,0311
22	47,436	78,726	17,045	24,643	91,972	4,377	0,148	0,0204

Anexo 5. Níveis de Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, As, Cd e Hg, expressos em mg/kg em 21 amostras de sedimento da 2ª coleta.

Ponto	Metais							
	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As	Cd	Hg
1-2	29,424	71,086	10,191	11,040	54,801	2,573	0,460	0,0272
2-2	29,027	31,025	17,836	29,726	93,225	3,285	0,134	0,0316
3-2	17,298	17,648	17,398	23,948	65,843	7,775	0,076	0,0163
4-2	16,390	15,191	12,293	20,837	57,266	3,135	0,202	0,0401
5-2	24,036	18,389	21,837	24,535	96,142	6,773	0,699	0,0410
6-2	41,067	26,779	27,228	35,272	163,719	3,790	1,041	0,1127
8-2	25,287	34,733	19,590	25,887	72,914	6,358	0,470	0,0097
9-2	18,537	23,184	15,739	21,685	59,458	3,325	0,173	0,0139
10-2	16,988	20,486	16,888	25,982	56,960	5,422	0,157	0,0174
11-2	23,143	37,139	16,845	23,793	61,382	4,704	0,061	0,0216
12-2	23,445	21,146	17,746	25,145	60,138	5,683	0,101	0,0266
13-2	16,395	14,696	15,345	24,243	54,984	4,767	0,175	0,0113
14-2	32,777	49,865	18,087	29,130	98,081	2,907	0,219	0,1260
15-2	51,969	87,448	20,837	38,227	147,262	6,233	0,428	0,1026
16-2	36,243	53,239	23,295	37,193	132,424	11,954	0,523	0,0696
17-2	50,525	172,064	15,542	22,089	84,758	3,830	0,202	0,0412
18-2	14,287	15,986	17,684	19,433	52,753	3,467	0,073	0,0264
19-2	18,543	22,991	17,193	23,091	55,078	1,900	0,174	0,0509
20-2	25,697	20,848	22,148	31,297	81,242	4,597	0,023	0,0495
21-2	28,791	42,737	21,044	26,992	76,627	5,375	0,070	0,0330
22-2	24,288	32,384	18,491	23,638	61,669	1,493	0,007	0,0374

Anexo 6. Teores de metais nas folhas, talo e raízes de *S. alterniflora*, nas duas coletas.

n=126.

Ponto	Metais							Hg (mg/kg)
	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
FP1	4,679	4,679	-	0,275	3,299	0,098	89,003	0,0167
TP1	22,479	4,897	5,539	-	0,260	0,091	221,580	0,0221
RP1	73,551	3773,591	7,027	36,207	2,686	1,387	333,556	0,0284
FP2	10,384	11,386	3,581	-	-	0,103	119,378	0,0400
TP2	12,144	6,877	-	-	0,134	0,177	121,623	0,0195
RP2	21,628	30,840	7,074	5,344	1,334	0,334	195,725	0,0260
FP3	3,344	3,493	0,399	-	2,848	0,036	61,633	0,0614
TP3	13,484	12,403	-	-	0,727	0,098	238,823	0,0210
RP3	20,892	19,567	8,366	4,389	9,287	0,448	213,130	0,0224
FP4	3,531	1,496	-	-	0,667	0,119	73,728	0,0199
TP4	10,243	10,243	0,809	-	4,648	0,198	194,160	0,0145
RP4	48,012	76,030	14,966	1,317	4,461	4,531	823,276	0,0345
FP5	1,421	7,432	0,820	-	-	0,082	84,863	0,0134
TP5	20,877	9,763	5,557	-	0,223	0,308	213,578	0,0150
RP5	42,467	13,579	9,600	1,557	1,150	2,049	657,845	0,0172
FP6	38,622	15,699	10,628	-	0,291	1,066	666,852	0,0177
TP6	41,828	10,543	9,232	-	-	0,728	568,726	0,0199
RP6	110,101	14,855	696,493	1061,226	4,854	9,496	2347,081	0,0290
FP8	15,157	-	0,667	-	0,491	0,169	130,887	0,0189
TP8	4,998	2,945	3,213	-	0,002	0,121	108,176	0,0127
RP8	23,704	9,943	12,873	22,727	4,246	0,629	240,767	0,0448
FP9	1,633	8,954	4,843	-	19,921	0,137	60,198	0,0207
TP9	19,306	16,870	0,656	-	3,608	0,089	156,607	0,0198
RP9	29,602	16,199	4,261	-	5,902	0,385	106,915	0,0179
FP10	15,424	13,546	5,350	-	5,373	0,140	110,871	0,0184
TP10	27,602	13,886	17,103	-	2,222	0,176	199,650	0,0192
RP10	33,725	38,321	7,502	-	5,497	1,902	362,598	0,0139
FP11	2,836	10,995	0,697	-	0,337	0,062	69,552	0,0176
TP11	23,258	19,283	-	-	0,750	0,039	169,063	0,0170
RP11	35,401	21,314	8,978	-	9,408	2,045	476,131	0,0166
FP12	5,300	12,927	3,318	-	0,146	0,083	74,641	0,0207
TP12	21,486	12,749	2,459	-	-	0,189	193,114	0,0187
RP12	32,385	43,429	13,229	-	0,845	2,573	200,986	0,0246
FP13	12,788	11,197	3,304	-	1,410	0,179	110,499	0,0231
TP13	36,299	10,333	3,355	-	0,158	0,151	190,821	0,0227
RP13	38,765	29,947	6,063	-	3,771	1,390	309,664	0,0250
FP14	8,213	17,786	1,936	-	-	0,070	94,894	0,0237
TP14	25,163	24,047	1,546	-	8,780	0,176	203,195	0,0201
RP14	53,535	49,130	10,165	-	7,150	0,695	584,482	0,0226
FP15	22,365	6,170	4,027	1,714	1,484	0,172	16,247	0,0270
TP15	10,738	3,548	2,708	-	-	0,099	175,630	0,0143

RP15	30,898	74,736	11,796	21,743	6,736	1,131	249,032	0,0344
FP16	3,322	10,732	2,862	-	2,136	0,057	72,414	0,0472
TP16	14,055	29,424	3,539	-	-	0,187	211,325	0,0234
RP16	31,929	45,152	6,660	-	7,261	0,600	329,971	0,0307
FP17	7,515	49,430	0,807	-	0,410	0,048	72,329	0,0275
TP17	33,640	20,290	10,183	-	-	0,081	217,906	0,0261
RP17	67,644	381,977	4,494	-	5,973	0,839	468,898	0,0366
FP18	3,038	15,641	-	-	-	0,026	49,362	0,0247
TP18	28,882	26,105	2,777	-	15,073	0,100	279,938	0,0452
RP18	36,330	151,186	8,115	-	1,077	1,046	355,056	0,0374
FP19	3,060	13,746	-	-	-	0,075	49,430	0,0328
TP19	28,524	18,167	0,790	-	0,265	0,120	167,193	0,0237
RP19	35,372	34,574	2,571	-	5,610	0,794	180,230	0,0361
FP20	4,594	15,346	-	-	0,947	0,098	49,458	0,0295
TP20	14,832	16,288	-	-	-	0,143	135,500	0,0589
RP20	53,486	41,378	8,914	-	5,716	0,691	379,590	0,0270
FP21	3,265	13,914	-	-	-	0,095	48,121	0,0243
TP21	15,537	10,019	-	-	0,510	0,175	126,283	0,0318
RP21	39,377	75,294	6,436	-	8,486	1,658	420,623	0,0293
FP22	12,124	21,966	-	-	-	0,204	116,738	0,0253
TP22	15,158	15,052	-	-	0,098	0,006	175,300	0,0203
RP22	41,082	61,039	5,663	-	6,417	0,846	466,469	0,0375
FP1-2	23,118	32,365	-	-	-	0,186	145,877	0,0247
TP1-2	13,808	31,130	-	-	-	0,194	129,791	0,0239
RP1-2	46,047	72,251	-	-	1,760	0,369	361,103	0,0247
FP2-2	31,353	33,376	-	-	9,280	0,131	150,515	0,0212
TP2-2	24,169	17,803	-	-	0,023	0,088	158,394	0,0225
RP2-2	31,453	20,775	5,397	-	0,380	0,433	365,367	0,0405
FP3-2	18,770	34,245	-	-	-	0,039	105,831	0,0271
TP3-2	26,368	29,152	2,293	-	0,334	-	136,423	0,0214
RP3-2	94,223	34,159	7,221	-	1,991	0,982	617,721	0,0263
FP4-2	18,793	31,103	-	-	0,001	0,088	182,578	0,0240
TP4-2	10,849	22,952	9,520	-	-	0,083	161,107	0,0287
RP4-2	42,043	39,549	-	-	2,286	0,456	388,717	0,0201
FP5-2	4,431	24,617	-	-	-	0,083	73,569	0,0300
TP5-2	22,182	19,684	-	-	0,045	0,162	192,746	0,0238
RP5-2	31,381	33,761	6,509	4,275	2,112	1,899	216,458	0,0259
FP6-2	48,409	22,996	5,666	-	-	3,171	1000,667	0,0233
TP6-2	53,645	20,553	3,619	-	0,107	2,810	641,158	0,0323
RP6-2	222,695	28,476	1314,596	3178,439	1,852	12,549	3412,229	0,0559
FP8-2	3,786	16,481	-	-	0,209	0,042	34,744	0,0451
TP8-2	4,582	18,798	-	-	-	0,065	96,011	0,0242
RP8-2	29,122	43,490	-	-	1,582	0,169	185,478	0,0239
FP9-2	3,857	20,523	-	-	0,159	0,033	54,339	0,0201
TP9-2	27,345	35,704	-	-	-	0,065	181,921	0,0266
RP9-2	20,101	34,789	0,290	-	3,398	0,415	136,258	0,0283

FP10-2	15,035	19,868	-	-	1,587	0,066	92,984	0,0274
TP10-2	28,561	24,716	-	-	-	0,322	140,791	0,0287
RP10-2	51,238	48,194	15,726	-	24,417	0,771	340,808	0,0306
FP11-2	5,219	12,441	-	-	-	0,071	60,262	0,0269
TP11-2	18,555	17,347	-	-	-	0,290	135,266	0,0293
RP11-2	45,530	33,417	1,504	-	10,002	0,238	551,295	0,0305
FP12-2	7,211	14,555	1,869	-	2,688	0,141	69,368	0,0281
TP12-2	13,145	19,218	-	-	-	0,074	127,288	0,0263
RP12-2	27,162	25,588	5,230	-	6,686	0,450	164,099	0,0285
FP13-2	5,021	10,359	-	-	-	0,104	59,672	0,0283
TP13-2	19,456	13,039	-	-	-	0,122	132,361	0,0240
RP13-2	52,045	22,374	1,728	-	2,506	0,625	524,774	0,0222
FP14-2	5,178	13,329	-	-	0,340	0,141	100,636	0,0300
TP14-2	23,171	13,915	-	-	0,034	0,210	186,072	0,0256
RP14-2	62,549	25,719	2,953	-	2,938	0,679	554,079	0,0339
FP15-2	4,765	22,006	-	-	-	0,038	87,273	0,0276
TP15-2	20,186	19,130	0,311	-	-	0,166	173,602	0,0338
RP15-2	36,122	81,470	0,938	-	4,993	0,404	484,519	0,0302
FP16-2	3,988	16,163	-	-	0,031	0,041	58,379	0,0232
TP16-2	11,728	19,161	0,496	-	-	0,061	181,120	0,0304
RP16-2	27,061	28,756	0,782	-	1,836	0,233	140,975	0,0316
FP17-2	4,782	53,714	0,056	-	0,066	0,068	59,275	0,0276
TP17-2	19,612	16,847	-	-	-	0,107	131,301	0,0274
RP17-2	76,535	1425,512	3,274	6,617	6,912	14,898	583,288	0,0340
FP18-2	3,697	14,616	-	-	-	0,047	38,879	0,0273
TP18-2	18,338	19,379	-	-	1,777	0,099	131,486	0,0276
RP18-2	34,990	27,389	12,247	-	7,108	0,599	151,967	0,0374
FP19-2	4,246	13,920	-	-	-	0,038	45,254	0,0257
TP19-2	28,534	18,848	-	-	-	-	145,550	0,0262
RP19-2	41,919	16,012	0,756	-	5,550	0,474	166,644	0,0321
FP20-2	5,787	5,137	1,691	-	-	0,050	67,499	0,0245
TP20-2	9,949	8,809	0,570	-	-	0,001	132,826	0,0288
RP20-2	62,753	35,097	7,718	-	7,002	0,574	226,663	0,0301
FP21-2	45,214	24,225	-	-	0,104	0,137	127,697	0,0297
TP21-2	9,866	17,123	-	-	6,203	0,125	94,844	0,0277
RP21-2	28,301	52,466	3,849	-	8,869	0,506	171,300	0,0296
FP22-2	35,855	12,458	-	-	0,317	0,055	142,738	0,0249
TP22-2	33,242	9,934	0,153	-	0,107	0,012	246,982	0,0323
RP22-2	66,716	32,905	9,484	-	1,760	0,914	308,923	0,0308