

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

ESTIMATIVAS DA CONTAMINAÇÃO DOS  
SEDIMENTOS DRAGADOS NO PORTO DE  
RIO GRANDE PARA DISPOSIÇÃO EM SOLO

LUÍS EDUARDO TORMA BURGUEÑO

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Cláudio Renato Rodrigues Dias, Dr. Eng. Civil

Rio Grande, Março 2009



# DEDICATÓRIA

À minha mãe, pelo exemplo de vida.

Ao meu pai, por lutar por sonhos coletivos (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Aos companheiros do Ibama que concederam-me afastamento parcial e proporcionaram a oportunidade de realizar este Pós-graduação.

Ao Professor Cláudio Rodrigues Dias por aceitar orientar-me neste trabalho.

Ao Professor João Baptista da Silva, pela amizade de sempre e por honra-me com sua participação na Banca Examinadora.

A Nilsa, secretária do Curso de `Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, pela alegria de sempre e por todos os auxílios e deferências prestadas.

Aos colegas de curso, especialmente ao Anderson Baldez, a Maria da Graça Peraça, pela amizade, carinho e pelas inúmeras horas de estudo e alegre convívio.

À Paola, Luiza e Alice, amores da minha vida, pela compreensão, apoio e estímulo à realização deste projeto.

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na consecução deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar os níveis de contaminação dos sedimentos do canal de acesso ao Porto de Rio Grande – RS, com vistas a sua disposição em terra. Foram analisados os seguintes elementos: As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, COT, N-Total e P-Total. Os dados utilizados foram obtidos do Programa de Monitoramento elaborado pela FURG, em 2006, para a SUPRG, para o licenciamento de dragagem de manutenção. Em contraste a estes dados foram utilizados, também, àqueles gerados pela MRS, em 2007, para o licenciamento da obra de prolongamento dos molhes e aprofundamento do canal de acesso ao porto (de 40 para 60 pés). Os três níveis em que foram coletadas as amostras (Topo, Meio e Fundo) foram submetidos ao teste  $t$ , para diferenças entre médias, comparados dois a dois. Para cada elemento proposto, foram ajustadas as distribuições de probabilidade, Beta, Gama, Normal, Log-Normal e Weibull. A significância do ajuste das distribuições ao conjunto de dados foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. A partir das distribuições que melhor ajustaram-se aos dados observados, foi calculado, para cada elemento o valor esperado para o nível de probabilidade de 0,99. Os valores estimados foram comparados àqueles estabelecidos pela legislação em vigor. Não existem diferenças significativas, ao nível de probabilidade  $\alpha=0,05$ , entre os três diferentes níveis amostrados, nas duas séries analisadas. As distribuições que melhor modelaram os dados foram a Beta e a Normal. Os teores encontrados ( $P\leq 0,99$ ) comparados aos limites estabelecidos na legislação pertinente denotam que os sedimentos dragados nos canais do porto de Rio Grande poderiam ser dispostos em terra sem impactos significativos ao ambiente.

**Palavras-chave:** dragagem, sedimentos contaminados, metais pesados, probabilidades, disposição em terra.

## ABSTRACT

This work estimates the levels of contamination of the sediments in the access channels to port of Rio Grande - RS, with views at land disposition. The following elements were analyzed: As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, COT, total N and total P. The used data were obtained of the Monitoring Program developed by FURG, in 2006, for SUPRG, for the licensing of maintenance dredging. It is composed by a group of 12 sediment cores, with samples collected in three levels of depth. Opposing these datas, was also used the information generated by MRS, in 2007, for the licensing of the work jetties prolongation and deepening of the access channel to the port (from 40 ft to 60 ft). This series is constituted of a group of 111 sample points of which 31 are cores in three depth levels. The different levels were submitted to the  $t$  test, for differences among the averages, compared two by two. For each proposed element, probability distributions were adjusted, searching the ones that best represented the series of the data. The tested distributions were: Beta, Gama, Normal, Log-normal and Weibull. The significance of the adjustment of the distributions to the dataset was verified through the test of Kolmogorov-Smirnov. Considering the best distributions adjusted to the observed data, calculations were made, for each element the expected value for the level of probability of 0,99. It doesn't significant differences, at the probability level  $\alpha=0,05$ , among the three different depth sampled, in the both series analyzed. The distributions that best modeled the data were the Beta and the Normal. The estimated values were compared to those established by the legislation. The results found demonstrate that these sediments could be disposed in land without significant impacts to the environment.

**Key-words:** dredging, polluted sediments, heavy metals, probabilities, disposition in land.

# SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS .....	9
LISTA DE ABREVIATURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	15
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO.....	21
2.1 A LAGUNA DOS PATOS.....	21
2.2 O PORTO DE RIO GRANDE .....	23
2.3 INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS.....	24
2.4 O ESTUÁRIO E A LAGUNA DOS PATOS.....	25
2.5 A HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO.....	27
2.6 PROCESSOS DEPOSICIONAIS .....	31
2.7 CONTAMINANTES AMBIENTAIS NO ESTUÁRIO.....	35
2.8 HISTÓRICO DE DRAGAGENS EM RIO GRANDE .....	40
2.9 USOS BENÉFICOS DE RESÍDUOS DE DRAGAGENS .....	42
3. OBJETIVOS.....	45
3.1 OBJETIVO GERAL.....	45
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	45
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 OS ELEMENTOS ANALISADOS.....	46
4.2 AS SÉRIES DE DADOS .....	46
4.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	48
4.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.....	49

5.	RESULTADOS.....	51
5.1	ARSÊNIO.....	51
5.2	CROMO .....	60
5.3	COBRE.....	69
5.4	MERCÚRIO.....	77
5.5	NÍQUEL .....	83
5.6	CHUMBO .....	92
5.7	ZINCO.....	102
5.8	NITROGÊNIO TOTAL .....	110
5.9	FÓSFORO TOTAL.....	119
5.10	CARBONO ORGÂNICO TOTAL .....	128
6.	DISCUSSÃO.....	136
6.1	AS SÉRIES DE DADOS .....	136
6.2	OS ELEMENTOS ESTUDADOS .....	138
6.3	LEGISLAÇÃO COMPARADA .....	146
6.4	DISPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS DRAGADOS EM SOLOS .....	150
7.	CONCLUSÕES.....	152
7.1	PERSPECTIVAS DE NOVOS ESTUDOS .....	154
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	155



## LISTA DE SÍMBOLOS

As – Arsênio

B – Boro

Cr – Cromo

Cu – Cobre

COT – Carbono Orgânico Total

COP – Carbono Orgânico Particulado

Hg – Mercúrio

I – Índio

Mo – Molibdênio

Ni – Níquel

N-Total – Nitrogênio Total

NOP – Nitrogênio Orgânico Particulado

Pb – Chumbo

Pu – Plutônio

P-Total – Fósforo Total

Sb – Antimônio

Se – Selênio

Tl – Tálho

U – Urânio

Zn – Zinco

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CETESB – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

EEA – Espectrofotômetro de Absorção Atômica

ENE – Este-Nordeste

FAPERGS – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul

FURG – Fundação Universidade do Rio Grande

HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

LO – Licença de Operação

N – Norte

NE – Nordeste

NNE – Norte-Nordeste

OSO – Oeste-Sudoeste

S – Sul

SO – Sudoeste

SSO – Sul-Sudoeste

SUPRG – Superintendência do Porto de Rio Grande

TECON – Terminal de Containeres

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre os teores de alguns contaminantes obtidos por Burgueño <i>et al</i> (2008), Kerstner (2003), França (1998) e teores mundiais apresentados em Griep <i>et al.</i> (2003) .	38
Tabela 2.2 – Teores médios ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) dos elementos metálicos antes e após a operação de dragagem 2003-2004.....	39
Tabela 3.1 – Localização dos pontos amostrais e as profundidades dos doze testemunhos analisados pela Furg (Asmus <i>et al</i> , 2006).....	48
Tabela 5.1 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento. ..	52
Tabela 5.2 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	52
Tabela 5.3 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento. ..	54
Tabela 5.4 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	54
Tabela 5.5 – Medidas estatísticas das duas séries de dados em estudo (As).....	55
Tabela 5.6 – Parâmetros de ajuste dos dados de As às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS)..	58
Tabela 5.7 – Parâmetros de ajuste dos dados de As às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS)..	58
Tabela 5.8 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cr, nos diferentes níveis do sedimento....	61
Tabela 5.9 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	61
Tabela 5.10 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cr, nos diferentes níveis do sedimento..	62
Tabela 5.11 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	63
Tabela 5.12 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Cr).....	64
Tabela 5.13 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cr às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS)..	67
Tabela 5.14 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cr às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS)..	67
Tabela 5.15 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento.	70
Tabela 5.16 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	70
Tabela 5.17 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cu nos diferentes níveis do sedimento. .	71

Tabela 5.18 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	71
Tabela 5.19 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Cu). ....	72
Tabela 5.20 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cu às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	76
Tabela 5.21 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cu às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	76
Tabela 5.22 – Estatísticas utilizadas na comparação do Hg nos diferentes níveis do sedimento..	78
Tabela 5.23 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	78
Tabela 5.24 – Medidas estatísticas para a série de dados em estudo (Hg). ....	79
Tabela 5.25 – Parâmetros de ajuste dos dados de Hg às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS) ...	82
Tabela 5.26 – Parâmetros de ajuste dos dados de Hg às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	82
Tabela 5.27 – Estatísticas utilizadas na comparação do Ni, nos diferentes níveis do sedimento..	84
Tabela 5.28 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	84
Tabela 5.29 – Estatísticas utilizadas na comparação do Ni, nos diferentes níveis do sedimento..	85
Tabela 5.30 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	85
Tabela 5.31 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Ni). ....	87
Tabela 5.32 – Parâmetros de ajuste dos dados de Ni às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	90
Tabela 5.33 – Parâmetros de ajuste dos dados de Ni às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	90
Tabela 5.34 – Estatísticas utilizadas na comparação do Pb, nos diferentes níveis do sedimento..	94
Tabela 5.35 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	94
Tabela 5.36 – Estatísticas utilizadas na comparação do Pb, nos diferentes níveis do sedimento..	95
Tabela 5.37 – Resultados do teste <i>t</i> , para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	95
Tabela 5.38 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Pb). ....	96
Tabela 5.39 – Parâmetros de ajuste dos dados de Pb às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	99
Tabela 5.40 – Parâmetros de ajuste dos dados de Pb às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). ...	99
Tabela 5.41 – Parâmetros de ajuste às diversas distribuições em estudo, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos Níveis de Significância (NS) para os dados agrupados das séries de observações da FURG e da MRS. ....	101
Tabela 5.42 – Estatísticas utilizadas na comparação do Zn, nos diferentes níveis do sedimento. ....	103
Tabela 5.43 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	103

Tabela 5.44 – Estatísticas utilizadas na comparação do Zn, nos diferentes níveis do sedimento. .....	104
Tabela 5.45 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	104
Tabela 5.46 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Zn). ....	106
Tabela 5.47 – Parâmetros de ajuste dos dados de Zn às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 109	
Tabela 5.48 – Parâmetros de ajuste dos dados de Zn às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 109	
Tabela 5.49 – Estatísticas utilizadas na comparação do N-Total, nos diferentes níveis do sedimento. ....	111
Tabela 5.50 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	111
Tabela 5.51 – Estatísticas utilizadas na comparação do N-Total, nos diferentes níveis do sedimento. ....	112
Tabela 5.52 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	113
Tabela 5.53 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (N-Total). ....	114
Tabela 5.54 – Parâmetros de ajuste dos dados de N-Total às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 117	
Tabela 5.55 – Parâmetros de ajuste dos dados de N-Total às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 117	
Tabela 5.56 – Estatísticas utilizadas na comparação do P-Total, nos diferentes níveis do sedimento. ....	120
Tabela 5.57 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	121
Tabela 5.58 – Estatísticas utilizadas na comparação do P-Total, nos diferentes níveis do sedimento. ....	122
Tabela 5.59 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	122
Tabela 5.60 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (P-Total). ....	123
Tabela 5.61 – Parâmetros de ajuste dos dados de P-Total às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 127	
Tabela 5.62 – Parâmetros de ajuste dos dados de P-Total às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 127	
Tabela 5.63 – Estatísticas utilizadas na comparação do COT, nos diferentes níveis do sedimento. .....	129
Tabela 5.64 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	129
Tabela 5.65 – Estatísticas utilizadas na comparação do COT, nos diferentes níveis do sedimento. .....	130
Tabela 5.66 – Resultados do teste <i>t</i> para as comparações entre os três níveis do sedimento. ....	130
Tabela 5.67 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (COT). ....	132

Tabela 5.68 – Parâmetros de ajuste dos dados de COT às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 135	
Tabela 5.69 – Parâmetros de ajuste dos dados de COT às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS). 135	
Tabela 6.1 – Probabilidade do valor esperado de teores ( $x$ ) iguais ou superiores ao Nível 1 ( $X$ ) do Conama (2004) dos contaminantes em estudo. .... 140	
Tabela 6.2 – Critérios estabelecidos na legislação para disposição de sedimentos dragados e aplicação de lodos provenientes de estações de tratamento e os teores estabelecidos para o limite superior do intervalo de confiança da média (0,99) e o valor da probabilidade acumulada (0,99) de ocorrência dos contaminantes em estudo. .... 149	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Desembocadura do estuário da laguna dos Patos no oceano Atlântico.....	26
Figura 2.3 – Fotografia da bacia de sedimentação leste, construída em 2001, para receber sedimentos lamíticos dragados na área do porto Novo.....	44
Figura 2.4 – Fotografia da bacia de sedimentação oeste, construída em 2001, para receber sedimentos lamíticos dragados na área do porto Novo.....	44
Figura 5.1 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela FURG.....	52
Figura 5.2 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela MRS.....	53
Figura 5.3 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de As.....	55
Figura 5.4 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de As. .....	56
Figura 5.5 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG.....	59
Figura 5.6 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.....	59
Figura 5.7 – Comportamento do Cr nos testemunhos amostrados pela FURG.....	60
Figura 5.8 – Comportamento do Cr nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	62
Figura 5.9 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Cr. ....	65
Figura 5.10 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Cr.....	65
Figura 5.11 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG.....	68
Figura 5.12 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.....	68
Figura 5.13 – Comportamento do Cu nos testemunhos amostrados pela FURG. ....	69
Figura 5.14 – Comportamento do Cu nos testemunhos amostrados pela MRS.....	71
Figura 5.15 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Cu. ....	73
Figura 5.16 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Cu.....	74
Figura 5.17 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da FURG.....	75
Figura 5.18 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.....	75

Figura 5.19 – Comportamento do Hg nos testemunhos amostrados pela FURG. ....	77
Figura 5.20 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Hg. ....	79
Figura 5.21 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Hg. ....	80
Figura 5.22 – Ajuste da distribuição Log-Normal aos dados da FURG. ....	81
Figura 5.23 – Comportamento do Ni nos testemunhos amostrados pela FURG. ....	83
Figura 5.24 – Comportamento do Ni nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	85
Figura 5.25 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Ni. ....	87
Figura 5.26 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Ni. ....	88
Figura 5.27 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS. ....	89
Figura 5.28 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de Ni da MRS. ....	91
Figura 5.29 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de Ni da FURG. ....	92
Figura 5.30 – Comportamento do Pb nos testemunhos amostrados pela FURG. ....	93
Figura 5.31 – Comportamento do Pb nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	94
Figura 5.32 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Pb. ....	97
Figura 5.33 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Pb. ....	97
Figura 5.34 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG. ....	100
Figura 5.35 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS. ....	100
Figura 5.36 – Comportamento do Zn nos testemunhos amostrados pela FURG. ....	103
Figura 5.37 – Comportamento do Zn nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	104
Figura 5.38 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Zn. ....	106
Figura 5.39 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Zn. ....	107
Figura 5.40 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da FURG. ....	108
Figura 5.41 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS. ....	108
Figura 5.42 – Comportamento do N-Total nos testemunhos amostrados pela FURG. ..	110
Figura 5.43 – Comportamento do N-Total nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	112
Figura 5.44 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de N-Total. ....	115
Figura 5.45 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de N-Total. ....	115
Figura 5.46 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de N-Total da FURG. ....	118



Figura 5.47 – Ajuste da distribuição Gama aos dados de N-Total da MRS. ....	118
Figura 5.48 – Ajuste da distribuição Log-Normal aos dados de N-Total da MRS.....	119
Figura 5.49 – Comportamento do P-Total nos testemunhos amostrados pela FURG. ...	120
Figura 5.50 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela MRS.....	122
Figura 5.51 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de P-Total. .....	124
Figura 5.52 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de P- Total. ....	124
Figura 5.53 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de P-Total da FURG.....	126
Figura 5.54 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de P-Total da MRS.....	126
Figura 5.55 – Comportamento do COT nos testemunhos amostrados pela FURG.....	128
Figura 5.56 – Comportamento do COT nos testemunhos amostrados pela MRS. ....	130
Figura 5.57 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de COT. ...	132
Figura 5.58 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de COT.....	133
Figura 5.59 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de COT da FURG.....	134
Figura 5.60 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de COT da MRS.....	134

# 1. INTRODUÇÃO

O município de Rio Grande possui o porto mais meridional do Brasil e o único porto marítimo do Estado do Rio Grande do Sul. Por localizar-se na desembocadura da Laguna dos Patos e em função das características hidrodinâmicas locais, o porto de Rio Grande necessita de dragagens freqüentes para manutenção das profundidades mínimas de calado, para o acesso e atracação.

Os processos de dragagem, por removerem grandes quantidades de sedimentos, em geral contaminados por diversos elementos (metais pesados, hidrocarbonetos, nutrientes, etc.), necessitam autorização prévia do órgão ambiental federal – Ibama.

O porto de Rio Grande foi o primeiro porto organizado a obter, junto ao Ibama, uma Licença de Operação – LO 003/1997. Tal fato tem como marco referencial a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório (Anello, 2006).

De forma a estabelecer as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação de sedimentos dragados, em águas jurisdicionais brasileiras, o Conama editou, em 2004, a Resolução 344 (Conama, 2004). Para o descarte de sedimentos em solos esta resolução remete aos Valores Orientadores estabelecidos, em 2001, pela Cetesb. Em 2005, a Cetesb reviu os valores estabelecidos inicialmente e os publicou na Decisão de Diretoria Nº 195-E (Cetesb, 2005).

A resolução do Conama estabelece critérios de qualidade, a partir de dois níveis, os quais delimitam três campos distintos: abaixo do Nível 1, a probabilidade de impactos à biota é baixa; o campo intermediário, entre os Níveis 1 e 2, a probabilidade de algum efeito adverso à biota aumenta relativamente e o campo acima do Nível 2 onde existe um provável impacto adverso.

Ainda que a norma em questão refira-se à probabilidade de ocorrência de algum efeito ao ambiente, no monitoramento da qualidade ambiental dos sedimentos dos canais de acesso ao porto, realizado pela Suprg, não são estabelecidos os níveis de probabilidade em que ocorrem os elementos analisados. Desta forma poder-se-ia ter, em algumas amostras ou testemunhos, algum elemento que superasse, por exemplo, o Nível 2, mas que, no conjunto geral das amostras, esta realização se mostrasse não significativa, a um determinado nível de significância.

Por outro lado, estes sedimentos, independente dos níveis de contaminação encontrados são, geralmente, dispostos no oceano (em área devidamente licenciada), a cerca de 13 milhas da costa da praia do Mar Grosso, município de São José do Norte.

Estes sedimentos são oriundos dos processos de erosão dos solos agriculturáveis, efluentes urbanos e emissões industriais e, portanto, ricos em matéria orgânica, nutrientes e micronutrientes, dentre outros contaminantes que, dependendo de sua concentração podem causar danos à biota.

Nesta perspectiva, este estudo teve por objetivo principal, a partir do ajuste de distribuições de probabilidades aos dados observados de alguns contaminantes presentes nos sedimentos de fundo dos canais de acesso ao porto de Rio Grande, estimar os níveis em que causariam algum dano provável a disposição em solos, à luz da legislação em vigor.

No Capítulo 2 apresenta-se uma visão geral da região de inserção do porto de Rio Grande com ênfase no comportamento do estuário e nos processos deposicionais. Faz-se, também, um breve relato das dragagens realizadas até então e da perspectiva de uso benéfico destes sedimentos.

No Capítulo 3 são apresentados os elementos, as séries de dados analisadas e os testes estatísticos a que foram submetidos os dados. Os testes consistem, principalmente, na comparação das médias dos diferentes níveis em que os sedimentos foram analisados, no ajuste de distribuições de probabilidades aos dados observados.

O Capítulo 4 é constituído, exclusivamente, pelos resultados obtidos nos diversos testes estatísticos aplicados. Estes resultados são apresentados em gráficos e tabelas de forma a tornar mais fácil sua visualização e interpretação.

No Capítulo 5 os resultados são inicialmente comparados aos obtidos por outros autores que avaliaram a contaminação dos sedimentos estuarinos do porto de Rio Grande. Posteriormente, são discutidos à luz da legislação em vigor, tendo como perspectiva sua disposição final em terra.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões inferidas as possibilidades de disposição e uso dos sedimentos e Sugestões para a continuidade dos estudos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO

### 2.1 A LAGUNA DOS PATOS

O município de Rio Grande está localizado, às margens da laguna dos Patos, na planície costeira do Rio Grande do Sul, a qual se constitui de uma costa arenosa, retilínea, baixa constituindo-se em uma das mais amplas planícies costeiras do Brasil.

A laguna dos Patos localiza-se entre as coordenadas 30° e 32°S, orientada no sentido NE – SO, tem cerca de 250 km de extensão e uma largura média de 40 km. Por ter uma profundidade média de 5 m é classificada como uma lagoa rasa. Com uma área 10.360 km<sup>2</sup>, constitui-se na maior área lagunar da América Latina e está entre as maiores lagoas do mundo (Herz, 1977, Möller, 1996).

A bacia Atlântica, onde se localiza a laguna dos Patos, drena uma área aproximada de 200.000 km<sup>2</sup>. Com isto mais de um milhão de metros cúbicos de sedimentos são carreados e desembocam na região estuarina (Baisch, 1994). Os picos de descargas de água doce estão associados às estações de inverno ou primavera, sendo que a dinâmica da laguna os Patos é claramente dominada pelo regime de ventos atuantes e pela passagem de frentes (Möller, 1996).

Os ventos dominantes na região são provenientes do quadrante Norte (NE) e ocorrem durante o ano todo, com maior intensidade nos meses de primavera e verão. Nos meses de outono e inverno a ocorrência de ventos do quadrante Sul (SO) cresce em função do aumento do número de frentes frias. Associados ao regime pluviométrico e de marés, condicionam a variação dos níveis da laguna e o padrão de circulação na região do estuário.

Com base na morfologia de fundo das barras arenosas da desembocadura da laguna dos Patos, Long (1989 *apud* Souza, 2002) estabeleceu um esquema de circulação, onde, sob influência

dos ventos de NE é gerado um gradiente de pressão ao longo do eixo principal da laguna em direção ao oceano, favorecendo um período de alta vazão de água doce. Ao contrário, com ventos de S e SE, os fluxos se invertem permitindo a entrada de água marinha no estuário através do canal. Soma-se a isto efeito não local do vento, que devido ao transporte de Ekman que afasta a água da costa sob o vento NE e sob a influência do vento SE inverte este fluxo (Möller *et al.*, 2001).

Em épocas de elevada pluviosidade e dadas condições eólicas suficientes, os sedimentos de fundo são ressuspensos, transportados e distribuídos pela hidrodinâmica estuarina. Junto aos sedimentos, diversos contaminantes, tais como metais pesados, nutrientes e micronutrientes, associados, sobretudo às partículas argilo-minerais e matéria orgânica dissolvida, são exportados para o oceano. Estes contaminantes contribuem significativamente na contaminação das águas e sedimentos do estuário. Dentre as fontes de contaminação destaca-se a atividade agrícola desenvolvida na região, os efluentes domésticos, ricos em nutrientes, dos centros urbanos de Pelotas e Rio Grande (Baumgarten *et al.*, 1995, 1998 e 2001, Barbosa *et al.*, 2005) e as atividades industriais – a indústria de fertilizantes, os diversos graneis movimentados, a navegação, a indústria do pescado, etc. (França, 1998, Mirlean *et al.*, 2001, Cavalcante, 2002, Granato, 2005, Costa, 2007).

Torres (2000) apresenta uma taxa média de sedimentação, para a região estuarina, de  $1.200.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , que para Hartmann (1996) implica em dragagens periódicas, a cada 2 ou 3 anos. Desta forma tem-se uma necessidade periódica por um lado e, por outro, diversas fontes de contaminação permanente. Desta forma cada dragagem constitui-se, também, em um benefício ao ambiente ao reduzir os níveis de contaminação. Ao se dragar os canais portuários, não se beneficia apenas a navegação, mas propicia-se um ambiente mais salutar à vida aquática. Entretanto, ainda que os impactos de uma dragagem tenham pouca duração e baixos impactos, há que ser cuidado na disposição dos resíduos, especialmente quanto à fauna bentônica.

Os resíduos das operações de dragagem tiveram diferentes locais de disposição ao longo dos anos de operação portuária em Rio Grande. Atualmente os volumes dragados tem como destino final uma área de cerca de 13.000 ha., em área de descarte especialmente licenciada para isto. Esta área está localizada a cerca de 13 milhas náuticas da costa (Granato, 2005) da

praia do Cassino e comporta duas áreas contíguas de descarte de todo o material retirado durante as dragagens de manutenção (MRS, 2007).

## 2.2 O PORTO DE RIO GRANDE

O porto de Rio Grande está localizado no baixo estuário da laguna dos Patos, na margem oeste do Canal do Norte, sendo este o escoadouro natural de toda a bacia hidrográfica da laguna dos Patos. A região estuarina é delimitada pela área compreendida entre a barra de Rio Grande e uma linha imaginária que une a extremidade leste da ilha da Feitoria à Ponta dos Lençóis (Figura 2.1).

Conforme a classificação dada por Alfredini (2005) o porto de Rio Grande é considerado um porto interior e artificial, em função de sua localização no estuário da Laguna dos Patos e da necessidade de constantes obras de melhorias (dragagens de manutenção, aprofundamento, etc.).

O porto de Rio Grande apresenta-se como forte candidato a assumir as funções de um porto concentrador de cargas para o chamado Cone Sul da América do Sul. Além disso, a infraestrutura portuária de Rio Grande apresenta-se como o principal fator para o desenvolvimento da metade sul do Rio Grande do Sul.

Corrêa Jr., em 1992 (*apud* em Hartmann, 1996) já destacava o porto de Rio Grande como o de melhores condições geográficas e de infra-estrutura para o escoamento da produção de todo o Rio Grande do Sul e norte da Argentina e Amaral (1997), o classificava como o terceiro porto mais importante do Brasil, atrás apenas dos portos de Santos e do Rio de Janeiro.

Alfredini (2005) cita que, ao menos quatro portos brasileiros (Santos, Sepetiba, Suape e Rio Grande), além de Montevideu (Uruguai) e Buenos Aires (Argentina) apresentam condições para adequarem-se à categoria de *hub ports*, especialmente concentradores de cargas geral, solta e containerizada.

Por outro lado, como destacam Boldrini *et al.* (2007), o Brasil e toda a América Latina incluem-se nos tráfegos Norte-Sul, intensamente menos importantes que os tráfegos Leste-Oeste, nos quais os fluxos e volumes de mercadorias transportadas são muito maiores. Isto porque nos tráfegos Norte-Sul utiliza-se uma geração de navios ultrapassada, de menor calado e menor capacidade de cargas.

Neste sentido, o canal de acesso ao porto organizado necessita de uma profundidade de 60 pés (cerca de 18 metros), já aprovada pelo Ibama. Entretanto, dragagens de manutenção para manter o calado serão cada vez mais constantes. Estas dragagens serão responsáveis por grande mobilização de sedimentos, além de diversos impactos, sobretudo à biota.

### 2.3 INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS

A zona portuária de Rio Grande está dividida entre o porto Velho, porto Novo e Superporto. O porto Velho e o porto Novo localizam-se na margem oeste do estuário, junto ao núcleo urbano do município. O Superporto situa-se, do pontal da Mangueira até a raiz do molhe oeste e à margem leste do Canal da Barra de Rio Grande está localizado o porto de São José do Norte.

No porto Velho funcionam atualmente os terminais pesqueiro e de passageiros, área de turismo e lazer, serviços e militar (Capitania dos Portos e Distrito Naval). O porto Novo abriga os terminais para carga geral, grânéis sólidos e líquidos, containeres e fertilizantes e operações de *roll/on-roll/off*. Na área do Superporto são desenvolvidas operações com grânéis líquidos e agrícolas, fertilizantes, carga e descarga de pescado e containeres, às margens do canal de acesso. O porto de São José do Norte apresenta uma área de transbordo, junto ao canal de acesso, na qual são feitas as atividades de carga e descarga de mercadorias (Torres, 2000; Suprg, 2008).

O canal navegável, com 18 km possui profundidades que variam de 10 a 14 metros desde a embocadura até a cidade de São José do Norte (Torres, 2000). O canal desenvolve-se através da barra e ao longo do canal do Norte, prolongando-se até o porto Novo e porto Velho.



Aproxima-se da margem rio-grandina no trecho entre o pontal oeste da barra e o pontal da Mangueira, atual área do Complexo Superporto-Distrito Industrial, e faz uma curva para o lado oposto, passando junto a São José do Norte.

Tanto o núcleo urbano do município como os empreendimentos situados no âmbito do porto organizado de Rio Grande constituem-se em fontes potenciais de poluição das águas e dos sedimentos estuarinos. As principais fontes de origem antrópica de metais e de componentes orgânicos são as indústrias de fertilizantes e os efluentes cloacais (Baisch e Niencheski, 1985; Baisch, 1987; Baisch *et al.*, 1988; Calliari *et al.*, 1995, Baumgarten *et al.*, 1995, 1998 e 2001, Barbosa *et al.*, 2005)).

## 2.4 O ESTUÁRIO E A LAGUNA DOS PATOS

Segundo a classificação geomorfológica de Fairbridge (1980) a laguna dos Patos pode ser classificada em estuário de laguna costeira. Entretanto, a morfologia de sua desembocadura é anômala em relação a outros estuários. Em oposição aos demais, tem seu estreitamento em direção ao mar, com dois meandros, um a leste e outro a oeste, terminando como a boca de um funil nos Molhes da Barra, condicionando uma dinâmica própria, diferente das outras áreas. É uma laguna costeira estrangulada, conforme a classificação de Kjerfve (1986), onde a circulação é condicionada pelo vento e pela descarga de água doce. Hartmann (1998) aduz que ela pode ser classificada segundo vários critérios: geomorfológico – estuário de barreira ou de laguna costeira; segundo a variação da maré astronômica como de micromaré (< 2,0 m); de acordo com as variações de predominância entre a água doce e salgada como de estuário lagunar, estuário superior, médio e inferior e estuário marinho; segundo a estratificação das massas de água comporta-se como todos os tipos propostos (homogêneo, parcialmente estratificado, bem estratificado, ou de cunha salina e sem estuário).

O estuário da laguna dos Patos ocupa aproximadamente 10% da superfície total da laguna. Caracteriza-se por amplas regiões de bancos (80%), canais naturais e artificiais e sacos marginais rasos. O estuário constitui-se de dois ambientes principais: baías costeiras rasas e

protegidas e pelo corpo de água central aberto e profundo do estuário (Bonilha & Asmus, 1994). O limite interior para a penetração da água salgada em uma magnitude mais intensa é a 60 km desde a entrada do estuário, até Ponta da Feitoria (Castello, 1986).

A área estuarina no sul da laguna possui cerca de 971 Km<sup>2</sup> e a interface com o Oceano Atlântico se dá através de um canal com 20 Km de comprimento e 0,5-3 Km de largura (Granato, 2005), cujo canal de acesso possui profundidade média de 14 m e máxima de 20 m.

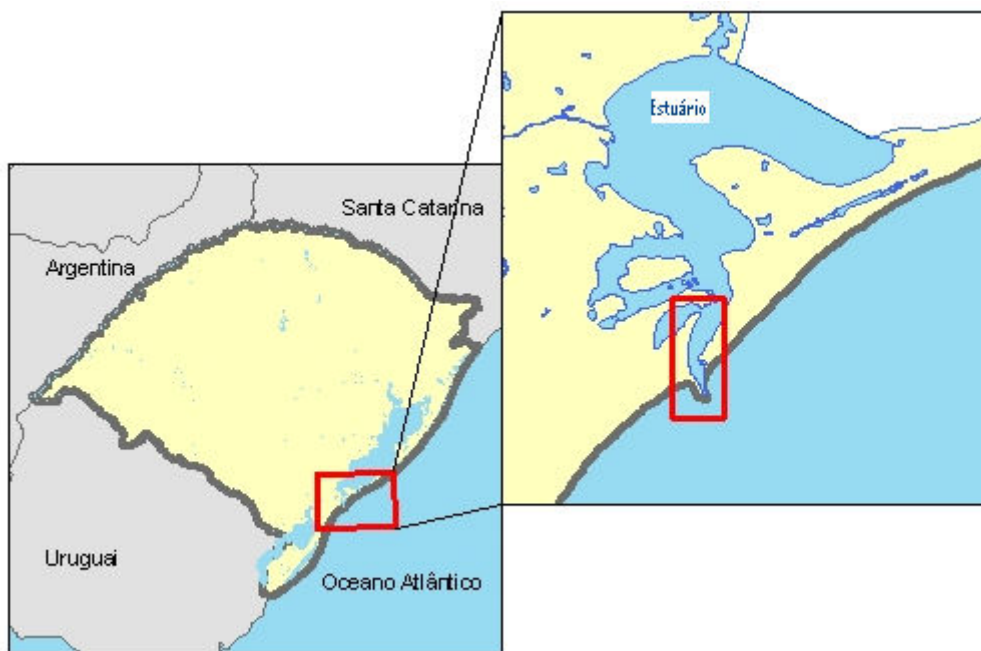


Figura 2.1 – Desembocadura do estuário da laguna dos Patos no oceano Atlântico.

O estuário apresenta-se como uma região de profundidade média de 1,7m, a qual é atravessada por canais naturais e dragados artificialmente. Geomorfologicamente é marcada pela presença de várias reentrâncias e apresenta um decréscimo exponencial, na largura, da Ponta da feitoria em direção à boca do estuário (Möller, 1995).

A região estuarina, de acordo com Calliari (1998) é, predominantemente, composta por grandes bancos de areia e sua profundidade pode variar entre um e cinco metros. A maior profundidade observada alcança 18 m no canal que liga a laguna com o oceano Atlântico. As enseadas associadas às margens do estuário são definidas por um número elevado de bancos e esporões arenosos recurvados, que formam uma feição típica das áreas rasas, com profundidades menores que 1 m.

Toldo Jr. (1991) dividiu a laguna dos Patos de acordo com a isóbata de cinco metros. A margem interna ou flanco lagunar corresponde à área compreendida entre a linha da costa e esta isóbata e apresenta uma composição essencialmente arenosa. O soalho ou piso lagunar corresponde a um fundo plano, que se desenvolve além da isóbata de cinco metros e apresenta uma composição essencialmente siltico-argilosa.

Uma das importantes funções sedimentológicas dos estuários é a mistura e diluição dos sedimentos fluviais, funcionando como uma bacia receptora natural para a acumulação e armazenagem destes, particularmente silte e argila em suspensão que, muitas vezes, podem estar contaminados (Calliari & Fachim, 1993).

## 2.5 A HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO

Os regimes de fluxo no sistema estuarino estão relacionados aos desníveis que ocorrem dentro da laguna e na costa oceânica. Estes desníveis são gerados pela contribuição a montante, proveniente da rede de drenagem lagunar, pelos ventos e pela ação das marés (Calliari & Fachin, 1993).

A hidrodinâmica do estuário, para Möller *et al* (1996), é controlada pela combinação dos efeitos causados pela ação do vento local sobre superfície da água (mecanismo de elevação/rebaixamento), pela ação do vento não-local agindo na região costeira (transporte de Ekman agindo a 90° para a esquerda da direção do vento), e pela descarga dos rios na região norte da laguna.

Os perfis de temperatura e salinidade caracterizam diferentes condições estuarinas, onde condições homogêneas de água doce e água marinha estão associadas com elevadas descargas fluviais e ventos do quadrante NE. Os gradientes verticais de salinidade também variam ao longo do ano, sendo que o estuário pode variar desde o tipo cunha salina até bem misturado, variabilidade considerada normal para os sistemas estuarinos (Möller & Castaing, 1999, Fernandes *et al.*, 2002).

A descarga fluvial é proporcional à pluviosidade e, portanto, subordinada à sazonalidade da região. Em períodos de descargas elevadas o regime de vazante é favorecido e conseqüentemente, aumenta a exportação de sedimentos à costa. Em períodos de estio, as descargas diminuem favorecendo a entrada de água salgada e os processos de sedimentação do material em suspensão.

Vaz *et al.* (2006) calcularam a vazão média lagunar em aproximadamente 2.400 m<sup>3</sup>/s e fortes variações sazonais. O pico das descargas ocorre no inverno e início de primavera, coincidindo com o período de maior pluviosidade na região, sendo crescentes a partir do mês de maio. Os meses de descarga pluvial mais reduzida são os de verão e outono. Os autores destacam que variações significativas são verificadas em períodos de El Niño, quando a vazão atinge valores muito superiores à média.

Möller *et al.* (2001) propuseram um esquema que define o efeito destas forçantes sob as condições predominantes de vento observadas na região. Em períodos de vento NE, a ação do vento local promove um aumento da elevação na região da Feitoria. O mesmo vento em seu efeito não-local provoca um rebaixamento do nível do mar próximo à linha de costa devido ao transporte de Ekman, que empurra a água em direção ao oceano aberto. O resultado da combinação destes dois efeitos é a geração de um gradiente de pressão barotrópico que força o sistema a exportar água para a plataforma continental. Sob a ação de um vento SO, a laguna dos Patos sofre um rebaixamento de seu nível em sua porção sul (região da Feitoria). Na região costeira, o vento SO gera um acúmulo de água junto à costa. A composição destes dois movimentos produz um gradiente de pressão barotrópico que tende a forçar a entrada de água salgada para o interior da laguna. Desta forma, segundo Castelão e Möller Jr. (2003), ventos de NE causam empilhamento de água na Feitoria, enquanto que ventos de SO causam empilhamento de água na região de Itapoã. A região da Feitoria funciona como o ponto de inflexão do sistema. Nessa região são encontrados os máximos e mínimos valores de elevação da superfície livre.

A ação do vento como fator determinante para a entrada de água salgada no interior do estuário se verifica em períodos de descargas fluviais fracas ou moderadas ( $< 3.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Por outro lado, em épocas de vazantes intensas ( $> 4.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), a ação do vento SO é extremamente restrita, pois o gradiente barotrópico gerado pelo desnível entre a laguna dos Patos e o oceano praticamente anula o gradiente de pressão gerado pela ação do vento. Neste

caso, a zona de mistura do estuário pode ficar restrita à região da desembocadura ou pode ser deslocada para a região costeira adjacente (Möller & Castaing, 1999). A saída das águas estuarinas no oceano forma uma pluma de sedimentos de dimensões consideráveis (Möller, 1996, Fernandes *et al.*, 2002), influenciada pela sazonalidade, diretamente associada às épocas de cheia (inverno/primavera) e estiagem (verão/outono) (Hartmann & Silva, 1989).

Os ventos de NE, NNE e ENE, segundo Motta (1969) são mais freqüentes e fortes de setembro a abril e mais raros e fracos de maio a agosto, por outro lado os ventos de Sul e Oeste tornam-se mais importantes de maio a outubro e mais raros entre os meses de novembro a abril. O grupo NE é o principal e coincide com o eixo principal da laguna, o que provoca um declive no nível da água em direção ao mar. Gera-se desta forma um degraú hidráulico gerado pelo aumento do nível da laguna ao norte que contribui com as vazantes hidráulicas. Este efeito pode ser amplificado, dependendo da contribuição a montante e se apresenta mais freqüente e intenso de setembro a abril, e mais raro e fraco de maio a agosto. Efeito semelhante ao produzido pelo grupo acima é o gerado por ventos do quadrante SSO a OSO que se apresentam na mesma orientação do eixo da laguna, mas com sentido contrário, gerando desta forma um represamento de águas a montante do canal, estabelecendo uma forte corrente de enchente (Calliari, 1980). As velocidades médias de vento NE e SO para a região situam-se entre 3 e 5 m.s<sup>-1</sup> (Herz 1977, Long 1989).

Em função da variabilidade meteorológica, Pain & Moller Jr. (1986) demonstraram que o estuário da Laguna dos Patos apresenta quatro tipos de circulação distintos: ausência de circulação estuarina; estuário do tipo bem estratificado; estuário parcialmente estratificado e estuário homogêneo. Situações de *ausência de circulação* ocorrem sob elevadas descargas lagunares, quando o estuário, sob influência de ventos do quadrante NE, comporta-se como um grande exportador de material em suspensão para a plataforma. Ocasões em que as águas estuarinas estão *bem estratificadas*, embora favoreça a floculação, as inversões de fluxo de enchente próximas ao fundo não permitem a consolidação dos finos recém depositados, em função das contínuas ressuspensões, favorecendo a exportação de material pela porção superior da coluna d'água. Estuário *parcialmente estratificado* quando associado fluxos intensos de enchente ou fracas descargas fluviais, favorece a importação de material em suspensão devido ao transporte residual para o interior da laguna, bem como sua deposição e consolidação. Em situações de *estuário homogêneo* as descargas fluviais são extremamente

baixas ou os níveis das águas oceânicas, excepcionalmente elevados, criando condições favoráveis à penetração de água salgada no interior da laguna.

As marés astronômicas são em média de 0,47 metros, semi-diurna e com uma componente principal de 10,8 cm de amplitude (Herz, 1977). Esta característica de micromaré, segundo Calliari & Fachin (1993), faz com que a influência sobre o comportamento hidráulico do estuário seja desprezível. Entretanto, quando associadas às baixas descargas fluviais, são capazes de gerar desníveis no interior do estuário modificando a direção e intensidade do fluxo hidráulico. Hartmann (1998 *a*) ressalta ainda que, apesar de ser uma região de micromaré, sua influencia aumenta sob a influência de ventos com certa intensidade, do quadrante sul.

Devido elevada razão superfície/volume e à gradual diminuição na elevação da água do mar, as máximas velocidades de correntes, no corpo principal da laguna são de  $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ , com freqüentes inversões de direção. Contudo, no canal de acesso, as velocidades do fluxo das correntes podem atingir  $1,7$  a  $1,9 \text{ m.s}^{-1}$ , quando submetidos a prolongados períodos de chuva (Garcia, 1997).

O principal agente mobilizador e transportador dos sedimentos não são as ondas de superfície, mas sim as correntes de enchente e/ou vazão que atuam na calha central do canal e nos taludes do seu entorno. Os sedimentos são ressuspensos pelas tensões de cisalhamento geradas pelas fortes correntes de fundo e transportados pelas correntes médias do canal ou transportados por rolamento sobre o fundo (Fontoura e Calliari, 2007 *a*).

Dada a alta hidrodinâmica do estuário, grande parte dos sedimentos em suspensão que atingem a região da desembocadura da laguna dos Patos são exportados para o oceano, ou depositam-se no fundo do canal. Este processo de assoreamento é permanente e concorre às dragagens periódicas, necessárias à manutenção do calado do canal portuário.

## 2.6 PROCESSOS DEPOSICIONAIS

Em rios, em geral, a turbulência do escoamento mantém os sedimentos finos permanentemente em suspensão. No entanto, em cenários com menor intensidade de turbulência, como em ambientes marinhos em geral e estuários em particular, os sedimentos encontram condições propícias para a deposição e, de tal modo, o leito desses ambientes se transformam no último sumidouro dos contaminantes (Gibbs, 1983).

Os estuários são ambientes sedimentares costeiros cuja evolução depende da interação entre parâmetros hidrodinâmicos, sedimentares e morfológicos e onde a atividade biológica é uma condicionante fundamental. Constituindo meios receptores de sedimentos por excelência, onde os processos evolutivos são extremamente dinâmicos, os estuários são importantes zonas de investigação da morfodinâmica atual e fácies deposicionais da história geológica recente (MRS, 2007).

Numa perspectiva cíclica, um poluente, entrando num estuário por rota pontual ou difusa, é controlado pela hidrodinâmica resultante do encontro do rio com o oceano sob a influência das marés, distribuindo-se por duas fases, dissolvida e particulada, de acordo com as condições ambientais. A fase particulada está associada às partículas em suspensão, podendo por isso acabar por se depositar no fundo, tendo aí o seu destino final, ou se ressuspensos os sedimentos, voltar a ser mobilizada para a coluna de água. A fase dissolvida circula no estuário, dependendo do equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes das águas intersticiais contaminadas pela concentração de poluentes no leito de sedimentos, sendo por fim exportada para o oceano (Fernandes, 2001).

A laguna dos Patos sofre, historicamente, assoreamento em diversos pontos do canal que a liga ao mar. Torres (2000) reporta que a principal contribuição de sedimentos para a laguna dos Patos se dá por material sólido em suspensão, sendo estimada uma descarga sólida do sistema Guaíba e do rio Camaquã da ordem de 5,3 milhões de toneladas por ano, com 82% deste volume proveniente do Guaíba.

A introdução de grande quantidade de sedimentos em suspensão, juntamente com as extensas enseadas rasas estuarinas recobertas com pradarias submersas de *Ruppia marítima* e com suas

marismas marginais, propicia um cenário ideal para os processos deposicionais no estuário da laguna dos Patos. Nos últimos 150 anos, a área do estuário inferior decresceu aproximadamente 11%, o que enfatiza o caráter deposicional deste ambiente. A erosão natural ocorre tanto nas margens à oeste do estuário, como nas margens próximas ao canal de acesso, tendo sido estimada a remoção anual de sedimentos para a costa adjacente em cerca de 2.500.000 m<sup>3</sup> (Calliari, 1980).

Segundo Herz (1977), 58% do volume de água na laguna dos Patos é proveniente do complexo Guaíba, 13,2% do rio Camaquã e 28,8% da lagoa Mirim através do Canal de São Gonçalo, sendo que os rios Jacuí e Taquari representam 85% da descarga fluvial no Guaíba.

Os aportes hidrológicos mais significativos na laguna são, de acordo com Baisch e Wasserman (1998), provenientes da bacia do Guaíba e do rio Camaquã. A descarga média do sistema do Guaíba é de 1.200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> com um máximo de 14.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e um mínimo de 50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, coincidindo os períodos de maior descarga com o inverno e primavera (final de junho até dezembro). No verão e outono verificam-se as menores descargas médias mensais. O rio Camaquã apresenta uma descarga líquida média de 316 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, totalizando cerca de 25% do sistema de drenagem do Guaíba. As descargas máximas são (5.300 316 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) são verificadas durante o inverno enquanto que no verão e na primeira metade do outono, ocorrem as menores descargas (6 316 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>).

Segundo Baisch (1994) do total de sedimentos que são descarregados na laguna apenas 25% atingem a região estuarina, cerca de 1.200.000 toneladas anualmente. Dias & Vitola (1995) estimaram, a partir de um período de 11 anos, a variação anual de sedimentos na região da desembocadura da laguna de 77 mil (mínimo) a 7,9 milhões de metros cúbicos (máximo) de deposição e 771 mil a 5,5 milhões de metros cúbicos de erosão.

Baisch & Jouanneau (*apud* França, 1998) estimaram que o fluxo sólido da laguna dos Patos é da ordem de 4,8x10<sup>6</sup> ton.ano<sup>-1</sup>. Destes 12,0x10<sup>4</sup> ton.ano<sup>-1</sup> de COP e 16,7x10<sup>3</sup> ton.ano<sup>-1</sup> em NOP. O rio Camaquã responde, respectivamente, por 17 e 9% destes aportes. Quanto ao fluxo de metais associados ao material em suspensão estimam que 334 ton.ano<sup>-1</sup> de Pb, 442 ton.ano<sup>-1</sup> de Cu, 916 ton.ano<sup>-1</sup> de Zn e 374 ton.ano<sup>-1</sup> de Cr. Destacam o rio Guaíba como a principal fontes destes contaminantes, tendo em vista que este sistema contribui com oito vezes mais Zn, seis vezes mais de Cr e quatro vezes mais de Pb e Cu que o rio Camaquã.



Torres (2000) esclarece que a taxa de assoreamento do canal de acesso é da ordem de 2,0 m/ano, com valor médio anual de  $1.5 \text{ m.ano}^{-1}$  (equivalendo a aproximadamente  $900.000 \text{ m}^3$  de sedimentos, considerando-se a área do canal ao longo do Superporto). A taxa de sedimentação diária é da ordem de  $4,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Segundo o autor, a sedimentação foi comprovada como sendo oriunda do processo de floculação associada à interação entre as águas doces de vazante e as salgadas de enchente.

Para Calliari (1980) a principal contribuição dos sedimentos que constituem o leito estuarino provém do complexo fluvial do Guaíba, rio Camaquã e dos afluentes do Canal São Gonçalo, que são traçados em zonas protegidas e canais de baixa hidrodinâmica. Calliari (*opus cit.*) identificou seis fácies distintas no fundo estuarino: arenosa, areno-siltica, areno-argilosa, mista, siltico-argilosa e argilo-siltica. As fácies arenosas são encontradas em regiões rasas e de maior dinâmica e a argilo-siltica em regiões mais profundas ou protegidas.

Na região intermediária do estuário da laguna dos Patos existe uma relação linear entre a profundidade e o tamanho de grão, conforme aumenta a profundidade são encontradas partículas cada vez menores (Martins, 1971; Calliari, *opus cit.*).

Calliari (*opus cit.*) relacionou os sedimentos às diversas profundidades encontradas no estuário e concluiu que as regiões mais profundas dos canais interiores tanto naturais como retificados, com hidrodinâmica mais baixa que a porção inferior do canal do norte e mais abrigadas (enseadas, tais como o Saco do Rincão, Arraial, etc.) estabelecem condições de baixa energia da coluna d'água por um período de tempo maior no qual se dá a deposição de finos predominando a fácies argilo-siltica.

Os canais do estuário médio e superior apresentam uma diminuição do tamanho de grão em função da profundidade (Martins, 1971; Calliari, *opus cit.*). Calliari (*opus cit.*) demonstrou essa gradação, também, para o estuário inferior. Os resultados encontrados por Martins (1971) comprovam a presença de sedimentos arenosos marinhos entre os sedimentos mais finos em direção ao norte. Esse padrão caracteriza as zonas de transição entre os domínios marinho e lagunar. Martins (*opus cit.*) delimitou os ambientes transicionais e os em função da presença de sedimentos finos (silte e argila) e de areias marinhas.

A interação estuário/oceano pode ser avaliada em função da presença de areia entre os molhes da Barra. Quanto maior a extensão de areia entre os molhes, maior terá sido o regime de enchentes do período anterior. A região transicional é caracterizada pela presença de

sedimentos compostos por areia, silte e argila; não apresentando o predomínio de nenhuma das fácies. A região central é caracterizada pela presença de sedimentos silte argilosos, embora neste trabalho tenhamos encontrado areia argilosa na região ao norte, consideramos ser esta área de domínio lagunar-fluvial.

Para a desembocadura da laguna dos Patos o regime de ventos associado ao deságüe da laguna, determina o padrão de circulação. Os regimes de vazante com ventos do quadrante norte provocam a ressuspensão e transporte de material para o oceano, e em condições de máxima intensidade pode ocorrer à expulsão da *cunha salina*. Por outro lado, o regime de enchente provocado por ventos do quadrante sul gera a ressuspensão e transporte de material para o interior do estuário pela entrada da *cunha salina* (Antiqueira, 2003).

Em função do regime hidrodinâmico a textura de fundo do canal pode sofrer alterações. Destarte, é possível encontrar-se um leito arenoso provavelmente oriundo da plataforma interna adjacente e, após fortes descargas fluviais, por exemplo, encontrar apenas material fino de origem lagunar. Estas variações texturais são constantes para a região e relacionam-se fortemente aos regimes de vazante/enchente, sua intensidade e predominância. Segundo Fontoura e Calliari (2007 b), é muito comum em estuários e particularmente no da laguna dos Patos o aparecimento de bolsões de lama fluída os quais podem se movimentar de acordo com o fluxo bidirecional do canal associado ao regime de enchentes e vazantes.

Os sedimentos lamíticos que se depositam na zona do canal de acesso resultam dos processos de floculação/agregação, causado pela interação das águas doce e salgada e das diferentes situações de circulação estuarina. A permanência dos sedimentos finos em suspensão, de um modo geral, é responsabilidade da ação do vento sobre a superfície da água, para a laguna. A deposição de sedimentos finos (silte e argila) na laguna é atribuída a um processo de deposição em rota, onde a argila mais fina deposita-se na região estuarina auxiliada pelas condições mixo-halinas (água salobra) que acelerariam a deposição através da floculação dos argilo-minerais. Pode-se dizer então que a intrusão de águas marinhas através do sistema estuarino propicia a deposição de fácies argilosas na porção sul do piso lagunar (Martins *et al.*, 1987; Toldo Jr., 1989 e 1991).

Hartmann (1996) concluiu que a acumulação de material é desigual na zona fora do canal de acesso. Com base no valor médio de 1,5 m/ano, a taxa de acumulação diária foi calculada como sendo próxima a 4,1mm/dia, o equivalente a aproximadamente 900.000 m<sup>3</sup> de

sedimento, considerando um canal com 3.000 metros de comprimento por 200 m de largura. Este autor comprovou a necessidade de dragagens periódicas do canal através da quantificação da taxa de assoreamento.

A ação humana, principalmente pelo crescimento e desenvolvimento da indústria, agricultura e urbanização, propicia o aporte de sedimentos para a bacia de drenagem. Tais condições associadas a uma enorme bacia de drenagem explicam o assoreamento permanente do canal, o que contribui para a redução de sua profundidade, exigindo dragagens de manutenção periódicas para manter a navegabilidade e a profundidade do calado.

## 2.7 CONTAMINANTES AMBIENTAIS NO ESTUÁRIO

Metais pesados são um conjunto de elementos químicos com densidade atômica elevada ( $6,0 \text{ g.cm}^3$ ). Além dos metais fazem parte deste grupo os semi-metais e os não-metais. Alguns elementos deste grupo, os chamados micronutrientes ou elementos traço essenciais são requeridos pela maioria dos organismos vivos em pequenas concentrações, podendo causar toxicidade quando em excesso (Cu, Mn, Fe e Zn essenciais às plantas e animais; Co, Cr, Se e I essenciais aos animais; B, Mo e, possivelmente o Ni essenciais às plantas). Os elementos que não apresentam funções biogeoquímicas essenciais são chamados de “elementos-não-essenciais” ou elementos tóxicos (As, Cd, Hg, Pb, Pu, Sb, Tl e U). Tais elementos causam toxicidade em concentrações que excedam a tolerância dos organismos, mas não causam deficiência quando em baixas concentrações como os micronutrientes (Alloway & Ayers, 1996).

Os metais são classificados em *elementos essenciais* (sódio, potássio, cálcio, Fe, Zn, Cu, Ni e magnésio); *micro-contaminantes ambientais* (As, Pb, Cd, Hg, Al, titânio, estanho e tungstênio) e *elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes* (cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel). Os efeitos tóxicos deste último grupo sempre foram considerados como eventos de curto prazo, agudos e evidentes (Ávila-Campos, 2008).

Atualmente, ocorrências a médio e longo prazo são observadas, e as relações causa-efeito são pouco evidentes e quase sempre subclínicas (Inácio *et al.*, 1998). Os efeitos tóxicos estão associados à dose e podem distribuir-se por todo o organismo, afetando vários órgãos, alterando os processos bioquímicos, organelas e membranas celulares (Goldberg *et al.*, 1983). Geralmente esses efeitos são difíceis de serem distinguidos e perdem em especificidade, pois podem ser provocados por outras substâncias tóxicas ou por interações entre esses agentes químicos (Gagnon & Fisher, 1997).

As concentrações de quaisquer contaminantes, no material em suspensão e nos sedimentos, são fortemente dependentes dos processos de ressuspensão dos sedimentos depositados no estuário. Dentre os principais contaminantes presentes nos sedimentos do estuário da laguna dos Patos encontram-se: nutrientes, micronutrientes, metais pesados, arsênio, hidrocarbonetos (em particular HPAs).

As altas concentrações de nutrientes dissolvidos e particulados no estuário são, provavelmente, provenientes de fontes antropogênicas, oriundas das cidades marginais ao estuário (Niencheski & Windon, 1994) e na reintrodução de águas estuarinas previamente exportadas para a zona costeira (Fernandes, 1997). As altas concentrações registradas podem resultar dos lançamentos industriais, em especial dos emissários das indústrias de fertilizantes (Baumgarten *et al.*, 1995).

Os metais pesados associados ao material em suspensão apresentam maiores concentrações quando prevalece um baixo regime de descargas, coincidindo com a entrada da cunha salina (Niencheski & Baumgarten, 1997). O Fator de Enriquecimento de Ni, V, Ba e Fe nas águas estuarinas ricas em material em suspensão ( $> 50 \text{ mg.l}^{-1}$ ) é relativamente constante, o que sugere que ocorrem em níveis naturais. Entretanto, para os elementos Cu, Zn, Pb, Li, Cr, Mn, Cd, As, Ag, e P, tende a ser maior em águas com reduzido material em suspensão, o que indica a contribuição de fontes antropogênicas (Niencheski *et al.*, 1994). Estes autores atribuem às atividades de mineração desenvolvidas no rio Camaquã os significativos acréscimos de Cu e Ag.

A maior parte dessas substâncias atinge o oceano através de bacias de drenagem ou pela deposição atmosférica. As substâncias não degradáveis como os metais pesados, representam problemas particulares para o meio ambiente marinho, visto que apresentam ao mesmo tempo

toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar (Marcovecchio, 2000; Martins *et al.*, 2002).

Segundo Förstner e Wittman (1979) dentre os fatores de maior destaque responsáveis pela remobilização dos metais pesados a partir dos sedimentos e possível aumento na concentração em solução, quatro são de maior destaque:

- troca catiônica com argilominerais, matéria orgânica e óxidos metálicos (Fe, Mn e Al);
- complexação pela matéria orgânica;
- variação nas condições redox (por um aumento na concentração de O<sub>2</sub>, ou em sistemas com maior tendência à oxigenação);
- diminuição do pH (conduz à dissolução dos hidróxidos e carbonatos e aumenta a dessorção dos cátions metálicos devido à maior competição com o H<sup>+</sup>).

França (1998) estimou os níveis de *background* para alguns metais pesados nos sedimentos da região estuarina da laguna dos Patos, utilizando o Lítio e o Alumínio como normalizante. Inicialmente avaliou 15 estações, contudo devido ao fato de que muitos dos locais amostrados recebiam a influência direta de vários efluentes industriais e domésticos, elevando os valores médios muito acima daqueles anteriormente encontrados para estações amostradas, suas estimativas foram obtidas a partir de quatro locais apenas, localizados: i) no Porto Rei, ilha dos Marinheiros, ii) no Saco do Justino, sudoeste da cidade de Rio Grande, iii) no balneário Laranjal, em Pelotas e iv) na margem da laguna, junto ao município de São Lourenço do Sul.

Em 2003, Kerstner, estudou o comportamento geotécnico e geoquímico dos rejeitos de dragagem da área do Porto. O material consistia de lama fluida, depositada em 2001, em duas bacias de sedimentação especialmente projetada. Ensaio de granulometria por sedimentação resultaram em 48% de argila ( $\emptyset < 0,002\text{mm}$ ), 18% de silte ( $0,002 < \emptyset < 0,06$ ) e 34% de areia fina ( $\emptyset > 0,06$ ). Embora não fosse objeto principal de seu estudo, analisou alguns elementos metálicos nos sedimentos depositados nas referidas bacias. A média encontrada por esta autora é apresentada na Tabela 2.1. Burgueño *et al* (2008) analisaram os sedimentos lamíticos, depositados nas mesmas bacias de contenção, estudadas por Kerstner (2003). Os resultados de França (*opus cit.*), Kerstner (*Opus cit.*) e Burgueño *et al.* (*opus cit.*) são comparados com valores de referência mundiais. Nota-se que, apenas o Cu está acima dos teores mundiais apresentados por Griep *et al* (2003) e do teor de *background* estabelecido por

França (1998). Destaca-se que o teor de *background* estabelecido por esta autora é relativamente superior aos índices mundiais apresentados. Em relação a média de Hg destaca-se que, uma das amostras analisada por Kerstner (2003) atingiu um valor de  $0,26 \text{ mg.kg}^{-1}$ , superior ao valor de referência.

Tabela 2.1 – Comparação entre os teores de alguns contaminantes obtidos por Burgueño *et al* (2008), Kerstner (2003), França (1998) e teores mundiais apresentados em Griep *et al.* (2003)

	<b>Chumbo (Pb)</b>	<b>Cobre (Cu)</b>	<b>Cromo (Cr)</b>	<b>Mercúrio (Hg)</b>	<b>Zinco (Zn)</b>
<i>Kerstner</i>	13,00	31,00	55,67	0,15	86,00
<i>Burgueño et al</i>	19,67	19,90	64,20	ND	75,26
<i>França</i>	29,00	19,00	19,00	-	67,00
<i>Teores Mundiais</i>	19,00	18,00	72,00	0,19	95,00

Destaca-se que os dados analisados por Burgueño *et al* (*opus cit.*) obtiveram, em geral, Coeficientes de Variação (CV) baixos (<25%) e os elementos acima citados apresentaram um CV, inferior a 10%. Enquanto Kerstner (*opus cit.*) obteve seus dados a partir de uma amostra de tamanho três, Burgueño *et al* (*opus cit.*) utilizaram uma amostra de tamanho 16.

Granato (2005) acompanhou o monitoramento ambiental das dragagens realizadas em 2003/2004. Diversas variáveis foram monitoradas antes, durante e após as operações de dragagem. Salienta-se que Granato (*opus cit.*) utilizou uma amostra de tamanho seis. Comparou os valores médios obtidos com um ponto de controle localizado fora da área diretamente dragada. Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados para os elementos metálicos estudados. Para todos os elementos, as médias obtidas foram superiores ao valor encontrado para o ponto de controle. Os valores percentuais médios de areia, silte e argila, antes e depois da dragagem são de 46,81 – 27,90 – 23,39 e 34,43 – 37,33 – 28,01, respectivamente. Os dados de Granato (*opus cit.*) evidenciam que após as dragagens os sedimentos superficiais do estuário tornam-se, em média mais finos, denotando a pouca eficiência das dragas utilizadas em reduzir os níveis de contaminação geoquímica. Este fato evidencia a necessidade do uso de dragas específicas para a retirada dos sedimentos mais contaminados.

Tabela 2.2 – Teores médios ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) dos elementos metálicos antes e após a operação de dragagem 2003-2004.

	<b>Pb</b>		<b>Cu</b>		<b>Zn</b>		<b>Ni</b>		<b>Cr</b>		<b>As</b>		<b>Hg</b>	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
<b>Média</b>	19,05	11,28	22,73	32,69	62,97	89,22	17,47	19,64	23,52	46,24	6,72	19,33	0,035	0,022
<b>Desvio Padrão</b>	13,83	2,082	11,21	1,434	42,12	2,928	6,90	1,14	13,66	4,38	6,78	7,75	0,024	0,014
<b>CV (%)</b>	72,60	18,46	49,32	4,39	66,89	3,28	39,50	5,80	58,08	9,47	100	40,09	68,57	63,64
<b>Controle</b>	17,50		20,80		61,90		17,30		24,60		4,20		0,0253	

Fonte: Granato, 2005 (modificado)

## 2.8 HISTÓRICO DE DRAGAGENS EM RIO GRANDE

A expansão do Porto de Rio Grande entre 1909 e 1914 gerou 8.776.000 m<sup>3</sup> de material dragado, que foi utilizado para a construção de ilhas e, também, depositado ao longo das margens do estuário inferior (Suprg *apud* Seeliger & Costa, 1998).

Após a construção dos molhes em 1915 em 1961/62 o DNPVN realizou a dragagem do canal entre o molhe e a barra (canal de acesso) e o calado passou para 12 metros. A partir deste período dragagens contínuas passaram a ser necessárias. Na década de 70 o canal foi dragado para profundidades da ordem de 14 metros, dando origem ao canal de acesso e removidos 703.032 m<sup>3</sup> (MRS, 2007). Esta drástica modificação geomorfológica afetou os fluxos de enchente e vazante na desembocadura e na laguna. e com a dragagem do canal de acesso em 1970 que o aprofundou para 14 metros, provocou modificações nos fluxos de enchente e vazante na desembocadura e na laguna (Hartmann, 1996).

Entre 1980 e 1996, cerca de 24,5 milhões de metros cúbicos de sedimentos foram dragados do fundo do estuário para a manutenção da navegação, com uma média anual de 1.6 milhões de metros cúbicos. Deste total, cerca de 83% são provenientes do canal de acesso (Torres, 2000, Granato, 2005).

Torres (*opus cit.*) relata que a avaliação inicialmente prevista para a dragagem realizada entre março e agosto de 1998 (1.700.000 m<sup>3</sup>) foi aumentada em cerca de 40%, com um volume dragado de aproximadamente 2.940.000 m<sup>3</sup> (deste volume 79,3% foi dragado no canal de acesso ao porto). Este fato Torres atribui à intensa pluviosidade que acometeu a região sul do país, em função do fenômeno *el niño*, dado o período de tempo transcorrido entre os processos licitatórios, de contratação e início dos serviços de dragagem. O material fora depositado a cerca de 5 milhas náuticas do molhe oeste, em frente a praia do Mar Grosso, há uma profundidade aproximada de 13 metros, com um custo de US\$ 4,4 milhões.

Entre julho de 2003 e setembro de 2004, em operação de dragagem de manutenção do porto de Rio Grande foram removidos aproximadamente 2.900.000 m<sup>3</sup> de sedimentos (Granato, *opus cit.*).

Na dragagem de 2001, pela primeira vez, foram elaborados estudos pré-dragagem e de monitoramento ambiental do processo de dragagem. O referido trabalho foi pioneiro para o



porto de Rio Grande e os estudos pré-dragagem envolveram uma caracterização geológica, geoquímica e geotécnica do material a ser dragado ao longo dos canais de navegação, bacias de evolução e canais de acesso.

Uma das poucas exceções à prática de descarte subaquático foi a dragagem da área do Porto Novo, em 2001. Nesta operação de dragagem foram removidos cerca de 29.000 m<sup>3</sup> de sedimentos lamíticos. Estes foram separados e depositados em duas bacias de sedimentação especialmente construídas, localizadas próximas ao Tecon. O projeto e construção das bacias contou com o financiamento Fapergs e da Suprg, com aporte de recursos em torno de R\$ 170.000.

A dragagem de manutenção iniciada em 2006 objetivou manter as condições de profundidade otimizadas em 14 m, removendo o material oriundo do assoreamento. Neste processo a remoção se deu em volumes aproximados de 3.000.000 m<sup>3</sup>.

Na obra de aprofundamento do canal de acesso de 14 para 18 metros (60') deverão ser prolongados os molhes de fixação da desembocadura do canal com vistas à redução de custos das futuras dragagens de manutenção do novo calado. No total, segundo a MRS (2007) serão dragados aproximadamente 16.000.000 m<sup>3</sup> ao longo do canal de acesso e margens.

Os volumes dragados tem como destino final uma área de cerca de 13.000 ha., em área de descarte especialmente licenciada para isto. Esta área está localizada acerca de 13 milhas náuticas da costa (Granato, 2005) da praia do Cassino e comporta duas áreas contíguas de descarte de todo o material retirado durante as dragagens de manutenção (MRS, 2007).

Torres (2000) apresentou os custos da dragagem realizada em 1998. Para cada local o preço praticado foi diferente, tendo em conta a proximidade com o local de despejo e o volume dragado em cada área. Os valores variaram entre U\$ 1,44 e US\$ 1,97, por metro cúbico efetivamente dragado. Tomando-se como base a média dos valores apresentados por Torres (2000), US\$ 1,76, estima-se que a dragagem prevista pela MRS custará aproximadamente 28,2 milhões de dólares.

## **2.9 USOS BENÉFICOS DE RESÍDUOS DE DRAGAGENS**

O material dragado é considerado modernamente como um recurso natural valioso, contrariando a visão ultrapassada que o considerava um resíduo inútil, a ser descartado. A estrutura de avaliação adotada pela Convenção de Londres, a partir de 1995, é regulada através do DMAF (Dredged Material Assessment Framework), que endossa esta teoria, sugerindo a análise do possível uso benéfico do material dragado, antes da concessão de licença para a disposição no mar (Goes Filho, 2004).

Alguns países têm buscado estabelecer critérios para controle de qualidade de solo e água subterrânea, ainda que haja controvérsias ao uso de critérios genéricos preestabelecidos em oposição a avaliações de risco caso a caso. O uso de padrões internacionais pode levar a avaliações inadequadas, pois existem diferenças nas condições climáticas, tecnológicas e pedológicas, levando à necessidade de desenvolverem-se padrões compatíveis com a região em questão (Argolo, 2001).

Destaca-se que, o que se entende atualmente como uso benéfico, engloba todas as alternativas de utilização que não considere o material a ser dragado como lixo. Para cada alternativa existe um conjunto de medidas de controle, incluindo alguns procedimentos operacionais, técnicos e de gerenciamento local, que podem reduzir ou eliminar impactos adversos previstos e tornar a alternativa como ambientalmente aceitável.

Krause & MacDonnell (2000) apresentam uma série de tecnologias de descontaminação e/ou estabilização empregadas para reduzir, separar, imobilizar ou destoxificar contaminantes. Estas tecnologias podem ser classificadas em quatro categorias funcionais: 1) processos que separam os contaminantes dos sólidos nos sedimentos; 2) processos que destroem os contaminantes ou os transforma em formas menos tóxicas; 3) separação física de sedimentos grosseiros de finos para reduzir o volume de contaminantes; e 4) processos de estabilização física e química que imobilizam os contaminantes tornando-os resistentes a perdas por infiltração, volatilização e erosão.

Os usos benéficos de material dragado incluem uma grande variedade de opções as quais podem utilizar este material para alguma finalidade produtiva. O material dragado é fonte

valiosa de nutrientes (minerais e orgânicos) com capacidade de fornecer melhorias e benefícios, ambientais e sócio-econômicos, se manejados e gerenciados adequadamente. As principais categorias na qual o sedimento dragado pode ser utilizado para uso benéfico são:

- Recuperação e melhoramento de habitats aquáticos (mangues, marismas, ilhas artificiais);
- Uso em aquicultura;
- Uso em parques e recreação (comercial e não-comercial);
- Agricultura e silvicultura;
- Uso em aterros e cobertura para lixões;
- Estabilização e proteção da costa e controle de erosão (através de arrecifes artificiais, quebra-mares e bancos de areia);
- Uso industrial e na construção civil (incluindo desenvolvimento portuário, de aeroportos, urbano e residencial);
- Produção de cerâmicas (pouco explorado por ser um processo muito caro).

Dentre as utilizações acima destaca-se a possibilidade da utilização do material dragado no porto de Rio Grande como matéria prima para solo superficial manufaturado. Sedimentos tanto marinhos como de água doce têm sido usados para produzir solos e misturas para plantas. Solos manufaturados têm sido criados a partir de material dragado em processos que envolvem a adição de celulose, biosólidos ou uma combinação dos dois (Sturgis & Lee, 1999).

Teixeira & Dias (2008) avaliaram os sedimentos lamíticos depositados nas bacias de contenção, anteriormente estudadas por Kerstner (2003) e concluíram que estes não estão contaminados, segundo os valores de referência estabelecidos na Resolução 344/2004 (Conama, 2004). Teixeira & Dias (*Opus cit.*) encontraram valores elevados para todos os nutrientes estudados, evidenciando seu potencial para uso como fertilizante agrícola. Destaca-se que nas bacias onde as amostras foram coletadas, em menos de cinco anos depois, em 2006, já havia uma grande variedade de plantas (gramíneas, arbustos e árvores), que dominavam toda a área (Figuras 2.3 e 2.4). Este processo de rápida colonização denota o potencial uso agrícola do resíduo oriundo das atividades de dragagem.



Figura 2.3 – Fotografia da bacia de sedimentação leste, construída em 2001, para receber sedimentos lamíticos dragados na área do porto Novo.



Figura 2.4 – Fotografia da bacia de sedimentação oeste, construída em 2001, para receber sedimentos lamíticos dragados na área do porto Novo.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Estimar a ocorrência de alguns contaminantes, os efeitos à saúde pública e ao ambiente natural da disposição em solo agrícola dos sedimentos dragados no Porto de Rio Grande.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar os teores dos elementos em estudo, nos três níveis de profundidade em que foram amostrados (Topo, Meio e Fundo).
- Comparar as médias, de cada elemento, das duas séries em estudo (FURG-MRS),
- Estimar, para os elementos em análise, os níveis de probabilidade em que ocorrem os teores limites, estabelecidos pela legislação em vigor.
- Avaliar a possibilidade de disposição em solo dos sedimentos dragados a partir das probabilidades de ocorrência dos teores verificados para os diversos elementos estudados, à luz da legislação em vigor.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 OS ELEMENTOS ANALISADOS

Neste trabalho foram analisados os seguintes elementos: Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Nitrogênio Total (N-Total), Fósforo Total (P-Total) e Carbono Orgânico Total (COT).

Os elementos acima descritos são classificados em *elementos essenciais* (Zn, Cu e Ni); *micro-contaminantes ambientais* (As, Pb e Hg), *elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes* (Cr, Zn e Ni) e *nutrientes* (P, N e C-orgânico). Para designação genérica destes elementos adotar-se-á a denominação de metais pesados ou simplesmente contaminantes.

### 4.2 AS SÉRIES DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de duas fontes distintas e independentes: i) o relatório de avaliação da qualidade dos sedimentos da região de acesso ao porto de Rio Grande, solicitado pela SUPRG ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG/FURG), com vistas a obtenção da Licença para dragagem de manutenção dos canais de acesso ao Porto e ii) plano amostral elaborado pelo Laboratório Bioensaios para o EIA/RIMA da dragagem de aprofundamento do Canal de Acesso ao porto de Rio Grande (MRS, 2007).

Os relatórios parciais da Furg (Asmus, 2006, Asmus *et al.*, 2006, Filmann et al, 2006 *a, b, c*) referem-se, entre outros estudos, aos de sondagem geológica e geoquímica para avaliar a qualidade dos sedimentos da região de acesso ao porto do Rio Grande, bacia de evolução do

porto Novo e área de descarte do material dragado, realizados para subsidiar a emissão da licença ambiental. Compõem-se de um conjunto de 15 pontos amostrados, definidos pela Suprg, sendo que, em 12 ocorreram testemunhos (amostras em profundidade) e nos outros três pontos, localizados na área de descarte, foram coletadas apenas amostras superficiais. Neste estudo utilizaram-se apenas as amostras localizadas no canal de acesso às instalações portuárias (12 testemunhos). Isto porque o material disposto na área de descarte, além de ter sua origem no estuário, canais interiores e bacias de evolução, foi descaracterizado pelos processos de, ressuspensão, dragagem e disposição, não explicitando assim as características naturais do sedimento em seus diferentes extratos. A Tabela 3.1 apresenta as coordenadas geográficas e as profundidades dos três diferentes níveis analisados (Topo, Meio e Fundo), para os 12 testemunhos estudados neste trabalho. Destaca-se que, no Testemunho número oito, os primeiros 30 centímetros eram constituídos de lama fluida e, portanto, foram desconsiderados para fins de análise, pela Furg. Desta forma o nível de topo considerado neste testemunho corresponde aos 30 centímetros subseqüentes (30 – 60 cm).

Das 36 amostras iniciais, apenas oito foram aceitas pelo Ibama, posto que não eram representativas do sedimento a ser dragado, conforme preceitua a Resolução do Conama 344/2004 (Conama, 2004). Desta forma outras amostras foram realizadas a fim de que se adequassem a norma brasileira. Entretanto, para os fins deste trabalho, considerou-se todas as amostras como válidas. Tendo em vista o cálculo das probabilidades de ocorrência dos diversos elementos em estudo, constituiu-se então a série da Furg com um total de 69 amostras de sedimento ao longo do canal de acesso ao Porto.

Os dados da MRS (2007) foram coletados entre os dias 19 e 30 de novembro de 2006. Constituem-se de uma malha de 111 pontos, com 172 amostras, coletadas ao longo do canal de acesso ao porto. Os pontos foram planejados de forma que todo o canal de navegação pudesse ser amostrado. Estão distribuídos em uma malha de três linhas longitudinais e 37 transversais ao eixo do canal, com início no Superporto e término no oceano, além dos molhes. A quantidade de amostras foi estimada em função do volume de sedimentos, considerando o disposto na Resolução Conama 344/2004 (Conama, 2004). Das 172 amostras, 80 correspondem a amostras superficiais. As restantes (92 amostras) estão dispostas em 31 testemunhos, com três níveis amostrais (exceto em um deles, com apenas dois níveis). As coordenadas dos locais amostrados não foram disponibilizadas pelo Laboratório Bioensaios

(MRS, 2007), entretanto, mapas com a localização e disposição dos pontos que compõem a malha amostral podem ser encontrados naquele estudo.

Tabela 3.1 – Localização dos pontos amostrais e as profundidades dos doze testemunhos analisados pela Furg (Asmus et al, 2006).

<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Topo (cm)</b>	<b>Meio (cm)</b>	<b>Fundo (cm)</b>
1	32° 12,469'	52° 2,767'	0 – 30	45 – 75	90 – 120
2	32° 11,810'	52° 4,037'	0 – 30	40 – 70	80 – 110
3	32° 11,047'	52° 4,881'	0 – 25	28,5 – 53,5	57 – 82
4	32° 10,498'	52° 5,132'	0 – 30	55 – 85	110 – 140
5	32° 10,149'	52° 5,290'	0 – 30	50 – 80	100 – 130
6	32° 9,590'	52° 5,539'	0 – 30	42,5 – 72,5	85 – 115
7	32° 7,357'	52° 6,037'	0 – 30	80 – 110	160 – 190
8	32° 5,547'	52° 5,873'	0 – 30	30 – 60	60 – 90
9	32° 4,429'	52° 5,033'	0 – 30	55 – 85	110 – 140
10	32° 8,708'	52° 4,274'	0 – 30	60 – 90	130 – 155
11	32° 2,807'	52° 4,323'	0 – 30	45 – 75	90 – 120
12	32° 2,240'	52° 4,475'	0 – 30	60 – 90	130 – 150

#### 4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os cálculos foram realizados com o auxílio dos seguintes softwares estatísticos: Statgraphics, versão 6.0 (Manugistics, 1992) e Statistica, versão 7.0 (Statsoft, 2004).

Para cada uma das séries realizou-se uma análise estatística descritiva dos dados de modo a caracterizá-las por meio de conhecidas medidas de avaliação. Foram calculadas estatísticas de posição, de dispersão e de forma.



Para ambas as séries, foram elaborados gráficos de Box e Whisker de modo a proporcionar uma análise visual da distribuição dos dados e gráficos de valores extremos, com o intervalo de confiança da média (0,99), de modo a visualizar a distribuição destes valores.

Para a série de dados da Furg, que abrange todo porto organizado e canal de acesso, foram realizadas medidas de correlação ( $r$ ) entre os níveis (Topo, Meio e Fundo), dois a dois e, por meio de uma regressão linear ( $b$ ), foi verificada a tendência dos dados. A primeira medida objetivou avaliar a homogeneidade de comportamento da distribuição de cada contaminante. Pela regressão linear procurou-se elucidar a tendência dos dados ao longo do canal de acesso às instalações portuárias. Ambas as medidas foram avaliadas a um nível de significância de 5% de probabilidade.

Para cada elemento e para as duas séries em estudo (FURG e MRS), foram realizados testes de comparação entre os diferentes níveis amostrais (Topo, Meio e Fundo). A hipótese ( $H_0$ ) testada é a de que não existem diferenças reais entre as médias dos três níveis, analisados dois a dois:

$$\begin{cases} H_0 : \bar{X}_a - \bar{X}_b = 0 \\ H_a : \bar{X}_a - \bar{X}_b \neq 0 \end{cases}$$

Para verificar a validade das hipóteses formuladas foi aplicado o teste  $t$  de Student, a um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5% ( $t = 1,796$ ). Este teste tem como condição preliminar a verificação da homogeneidade de variâncias. Esta foi estimada pelo teste  $F$  bilateral que avalia, por meio da razão entre as variâncias, a homocedasticidade dos dois conjuntos de dados (Dixon & Massey Jr., 1969).

#### 4.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

De forma geral, a determinação das probabilidades de ocorrência de determinados elementos metálicos nos sedimentos de dragagem é de vital importância para o planejamento das

atividades de dragagem e disposição destes rejeitos, bem como nos planos de monitoramento antes, durante e após estas operações.

Uma forma de modelar esses eventos é utilizar uma distribuição de valores extremos. Segundo Haan (1979), três tipos de distribuições assintóticas (distribuições dos extremos) foram desenvolvidas com base em diferentes (mas não todas) famílias de distribuições. Os tipos, com alguns exemplos de famílias de distribuição, são apresentados a seguir:

Tipo I: família de distribuições não-limitadas na direção do extremo desejado e todos os momentos da distribuição existem. Valores extremos máximos (Normal, Log-normal, Exponencial e Gama), Valores extremos mínimos (Normal).

Tipo II: família de distribuições não-limitadas na direção do extremo desejado e nem todos os momentos da distribuição existem. Valores extremos, máximos e mínimos, Distribuição de Cauchy.

Tipo III: família de distribuições limitadas na direção do extremo desejado (distribuições limitadas). Valores extremos máximos (Beta), valores extremos mínimos (Beta, Log-normal, Gama e Exponencial).

Para cada um dos contaminantes propostos, foram ajustadas distribuições de probabilidade (Beta, Gamma, Log-normal, Normal e Weibull), na busca daquela que melhor represente o conjunto de dados. Para modelagem a partir da distribuição Beta, os dados foram reduzidos a valores entre zero e um. O ajuste dos dados a cada distribuição foi avaliado por meio do teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S). As hipóteses formuladas, testadas ao nível de 5% de significância, foram as seguintes:

$$\begin{cases} H_0 : \text{Os dados seguem a distribuição testada} \\ H_a : \text{Os dados não seguem a distribuição testada} \end{cases}$$

O teste K-S é baseado em funções de distribuição acumulada e pode ser usado para verificar se duas distribuições empíricas são diferentes ou se uma distribuição empírica é diferente de uma distribuição ideal. A hipótese verificada pelo teste K-S é a de que os dados seguem a distribuição teórica em análise.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 ARSÊNIO

#### 5.1.1 Série de dados da FURG

Todos os valores de As analisados estão abaixo do Nível I ( $8,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para águas salino-salobras, estabelecido na Resolução Conama N.º 344/2004 (Conama, 2004). A Figura 5.1 mostra o comportamento do As nos 12 testemunhos realizados pela FURG. Note-se que há um visível decréscimo dos valores, no sentido estuário-oceano (do testemunho 12 ao 01).

Ao analisar-se a tendência dos dados, para os três níveis em tela, verifica-se que, em geral, as amostras, nos diferentes níveis, têm um comportamento semelhante. A tendência dos dados é significativa ao nível  $\alpha = 0,05$  ( $t = 1,796$ ), apenas para o Topo. Com valores  $t = 2,827$ ;  $1,224$  e  $0,809$ , para os níveis Topo, Meio e Fundo, respectivamente.

Por outro lado, apenas entre os níveis Topo e Meio a correlação ( $r$ ) foi significativa, ao nível de 5%, com  $r = 0,555$ , enquanto que entre os níveis Topo e Fundo e Meio e Fundo, o valor de  $r$  foi não significativo, com índices de  $0,351$  e  $0,184$ , respectivamente.

A comparação das médias de As, nos três níveis estudados (Topo, Meio e Fundo) pelo teste  $t$ , não foi significativa ( $\alpha=0,05$ ), conduzindo a aceitação da hipótese de nulidade de que não existem diferenças entre os níveis de observação. Os valores médios e as variâncias das 36 observações, obtidas para os testemunhos estudados são apresentados na Tabela 5.1 e os resultados dos testes de comparação são apresentados na Tabela 5.2.

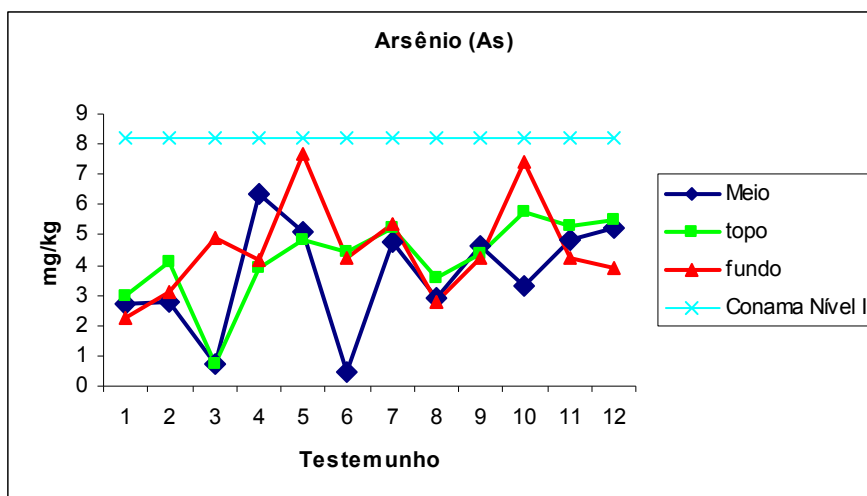


Figura 5.1 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela FURG.

Tabela 5.1 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento.

	Topo	Meio	Fundo
<i>Média</i>	4,228	3,648	4,527
<i>Variância</i>	1,874	3,275	2,748

Tabela 5.2 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<i>t</i>	<b>P (t)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,884	0,387
<i>Topo – Fundo</i>	-0,482	0,635
<i>Meio – Fundo</i>	-1,240	0,228

Em todos os níveis comparados as variâncias resultaram homogêneas. O teste *t*, de comparação entre duas médias, resultou não significativo ao nível de 5% de probabilidade, nas três comparações efetuadas. A comparação entre os níveis Topo e Meio, obteve-se um valor  $t = 0,884$ , com um nível de significância – NS = 0,387. Para os níveis Topo e Fundo o teste *t* resultou em  $t = -0,482$ , à um nível de significância NS = 0,635. O teste *t*, para a comparação Meio-Fundo, resultou significativo com  $t = -1,240$  com um NS = 0,228.

Os elevados níveis de significância encontrados, nas três comparações em tela, conduziram à aceitação da hipótese de nulidade, de que não existem diferenças significativas entre as médias das observações.

### 5.1.2 Série de dados da MRS

Para os dados fornecidos pela MRS, os testemunhos 81 a 111, apresentam valores para os três níveis (Topo, Meio e Fundo). A Figura 5.2 mostra o comportamento destes valores. Da mesma forma que os valores apresentados pela FURG, os dados da MRS ficaram abaixo do valor limite, no Nível I da Resolução 344 (Conama, 2004).

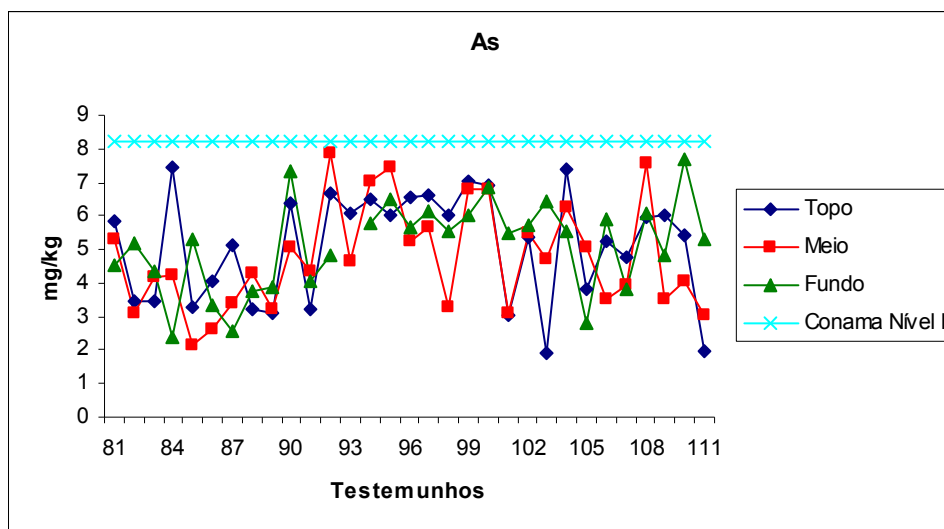


Figura 5.2 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela MRS.

Os testes da diferença entre as médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foram significativas. A Tabela 5.3 apresenta a média e a variância, dos três níveis em comparação, obtidos a partir das 30 observações. Os resultados obtidos da comparação entre os três níveis analisados (Topo, Meio e Fundo) conduziram a aceitação da hipótese de nulidade ( $H_0: DM=0$ ). Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.3 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	4,993	4,727	5,118
<i>Variância</i>	2,509	2,462	1,830

Tabela 5.4 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,663	0,510
<i>Topo – Fundo</i>	-0,331	0,741
<i>Meio – Fundo</i>	-1,040	0,303

Em todas as comparações as variâncias dos dados resultaram homogêneas e o teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ), resultou não significativo. Destaca-se, para os três níveis, a elevada significância encontrada. O que confirma que não existem diferenças entre as realizações de As, nos diferentes estratos do sedimento. Neste caso, ainda que o nível de rigor para a aceitação de  $H_0$ , aplicado ao teste, fosse, p. e., de 30%, poderíamos confirmar a hipótese da igualdade.

### 5.1.3 Comparação das duas séries de dados (FURG – MRS)

Levando em consideração os resultados encontrados para cada uma das séries em estudo (FURG e MRS) previamente apresentadas, procedeu-se a comparação destas entre si. O teste  $F$ , da razão entre variâncias resultou não significativo, A hipótese de nulidade foi verificada por meio do teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). O valor de  $t = 4,202$ , resultou significativo (NS = 0,000037). Portanto, rejeita-se a hipótese formulada de que as diferenças entre as duas séries de dados seriam nulas.

A Tabela 5.5 apresenta uma série de medidas de posição e dispersão dos dados com o intuito de melhor descrever as séries em estudo. A Figura 5.3 explicita a distribuição a partir das

distâncias entre os quartis. Pode-se observar que os valores máximos das duas séries são muito próximos, bem como a amplitude de variação. Isso poderia indicar que os limites de ocorrência de As independem do tamanho da amostra.

Tabela 5.5 – Medidas estatísticas das duas séries de dados em estudo (As).

<i>Estadísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	4,311	5,365
<i>Desvio Padrão</i>	1,737	1,765
<i>Coef. Variação</i>	0,403	0,329
<i>Amplitude</i>	7,630	7,390
<i>Mínimo</i>	0,470	0,830
<i>1º Quartil</i>	3,000	3,925
<i>Mediana</i>	4,200	5,440
<i>3º Quartil</i>	5,300	6,885
<i>Máximo</i>	8,100	8,220
<i>Assimetria</i>	0,337	-0,237
<i>Curtose</i>	-0,052	-0,825

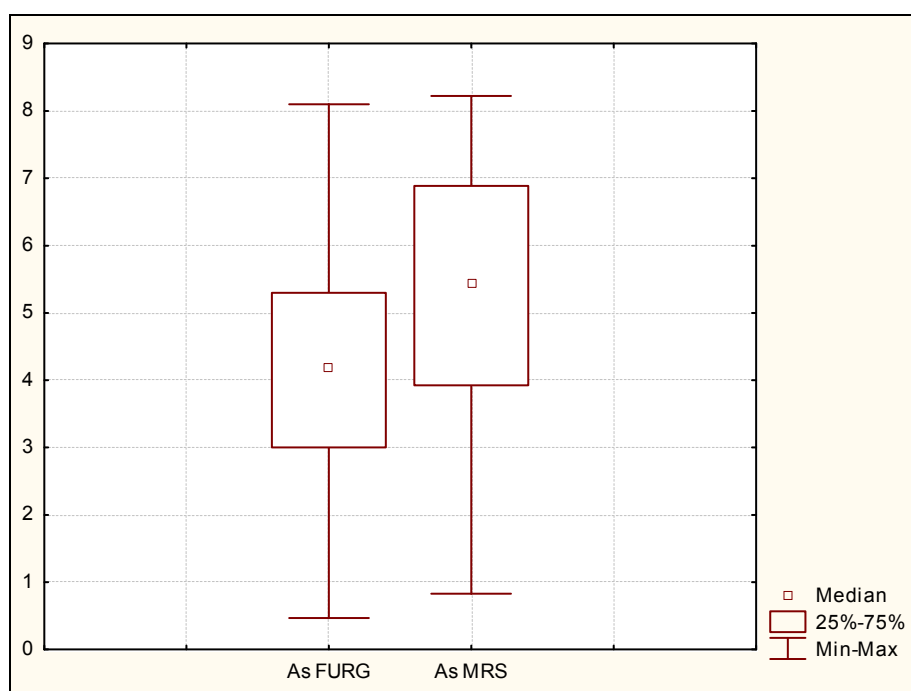


Figura 5.3 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de As.

Em relação à forma, ambas as séries apresentam uma fraca assimetria dos dados. Enquanto os dados da FURG possuem uma assimetria à direita os da MRS apresentam uma assimetria à esquerda. Isto é evidenciado pelas distâncias interquartílicas e pelas medidas de assimetria. As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam histogramas dos dados da FURG e MRS. Enquanto nos dados colhidos pela FURG há uma preponderância dos valores menores (a classe modal esta compreendida entre 2,378 a 3,331 mg.kg<sup>-1</sup> de As), os valores fornecidos pela MRS concentram-se grande parte dos dados nas classes superiores. Caracteriza-se como uma distribuição multimodal, entre intervalos de 5,38-5,95 e 7,08-7,65 mg.kg<sup>-1</sup> de As.

Os valores extremos para ambas as séries, plotados nos gráficos da Figura 5.4, reafirmam a diferença entre as duas séries de dados. O limite inferior verificado para os dados da MRS (5,014 mg.kg<sup>-1</sup>) são maiores que o limite superior do IC da média dos dados da FURG (4,865 mg.kg<sup>-1</sup>).

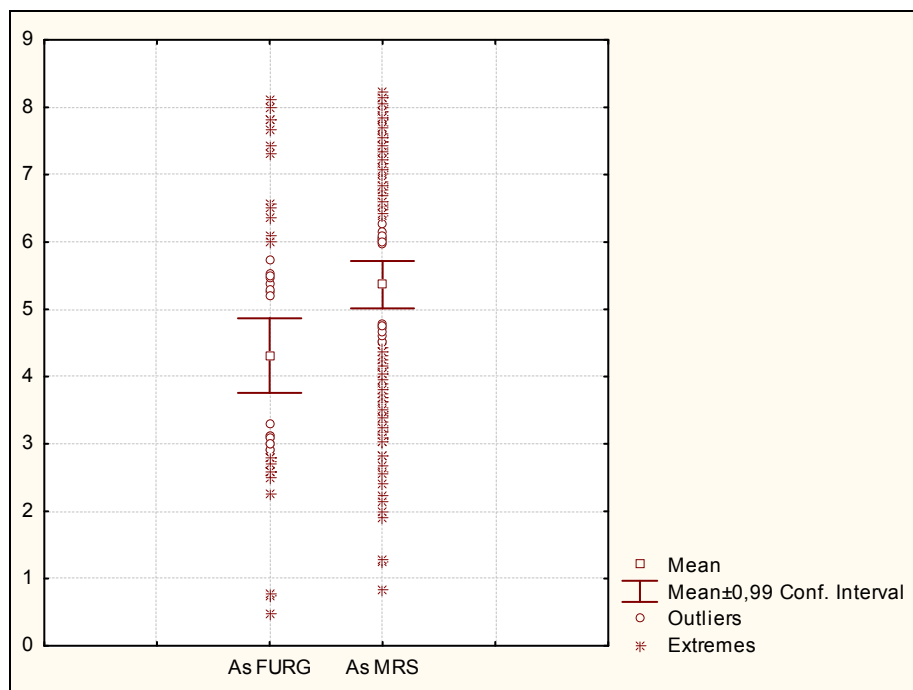


Figura 5.4 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de As.



#### 5.1.4 Ajuste das distribuições de probabilidade

Os resultados do ajuste de diferentes distribuições de probabilidades aos dados observados são apresentados nas Tabelas 5.6 e 5.7. Àquelas distribuições com melhor qualidade de ajuste aos dados, são representadas nas Figuras 5.5 e 5.6.

Para os dados da FURG a distribuição Normal foi a que obteve o melhor nível de ajuste (NS = 0,622). As distribuições de Weibull e Beta, também, obtiveram níveis elevados de significância, com NS= 0,281 e NS=0,251, respectivamente.

A distribuição Beta, para os dados da MRS, foi a que melhor representou este conjunto de dados com um NS = 0,672. A distribuição Normal e a de Weibull, também obtiveram níveis de significância elevados, NS = 0,364 e NS = 0,345, contudo muito abaixo do obtido pela distribuição Beta.

A partir dos parâmetros apresentados nas Tabelas 5.6 e 5.7, pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de As. Para os dados da FURG, utilizando a distribuição Normal ( $\bar{X} = 4,311$  e  $s = 1,737 \text{ mg.kg}^{-1}$  de As) verifica-se que a probabilidade de ocorrência de valores superiores ao limite estabelecido para o Nível I, As =  $8,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ , (Conama, 2004) é  $P = 0,012576$ . Caso se utilize a Distribuição de Weibull, a probabilidade de o valor limite ser ultrapassado é  $P = 0,013803$ . Ainda que com nível de ajuste relativamente inferior, a distribuição de Weibull retornou um valor muito próximo àquele fornecido pela distribuição Normal. O que reforça a evidência de ser esta uma distribuição adequada para prever os níveis de probabilidade de As.

Em relação aos dados fornecidos pela MRS, a distribuição Beta, permite estimar que a probabilidade de ocorrência de valores superiores ao Nível I do Conama é  $P = 0,001741$ . Pela distribuição Normal, a segunda que melhor ajustou-se aos dados observados, obtém-se um valor de  $P = 0,054009$ . Ainda que a distribuição Normal tenha superestimado os valores extremos superiores da série da MRS e que a probabilidade obtida a partir de seus parâmetros, para o limite em questão, seja relativamente superior a estimativa da distribuição Beta, as probabilidades calculadas a partir dela, para os dados da MRS, são plausíveis.

Tabela 5.6 – Parâmetros de ajuste dos dados de As às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	1,936	1,909	0,123	0,251	1,866	1,194	<b>0,055</b>	<b>0,672</b>
<i>Gama</i>	4,466	1,093	0,129	0,120	7,541	1,406	0,084	0,178
<i>Weibull</i>	2,509	4,593	0,107	0,281	3,479	5,971	0,071	0,345

Tabela 5.7 – Parâmetros de ajuste dos dados de As às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	4,440	2,450	0,145	0,109	5,427	2,255	0,108	0,038
<i>Normal</i>	4,311	1,737	<b>0,091</b>	<b>0,622</b>	5,363	1,765	0,070	0,364

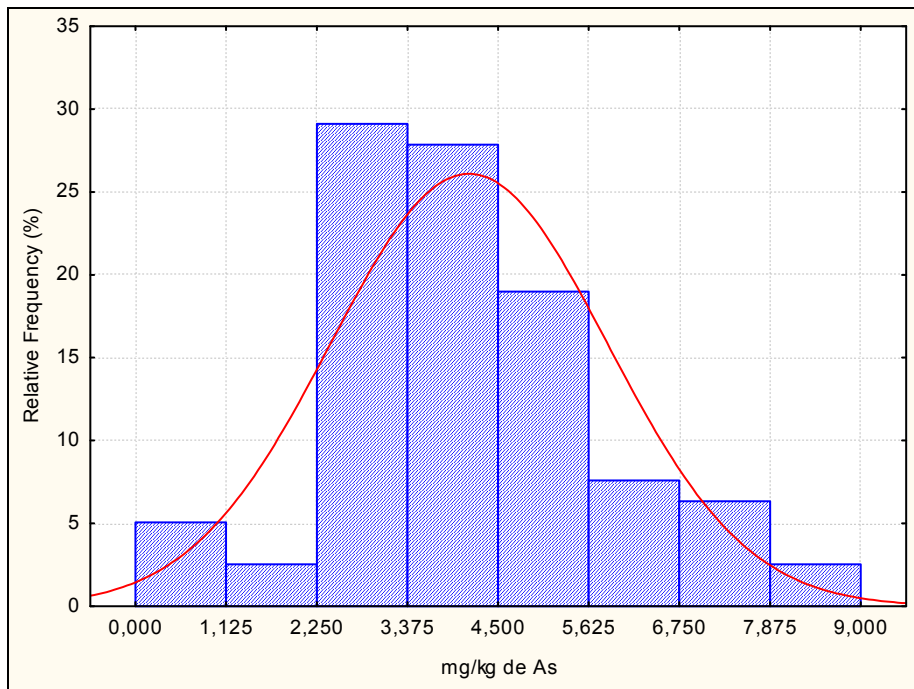


Figura 5.5 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG.

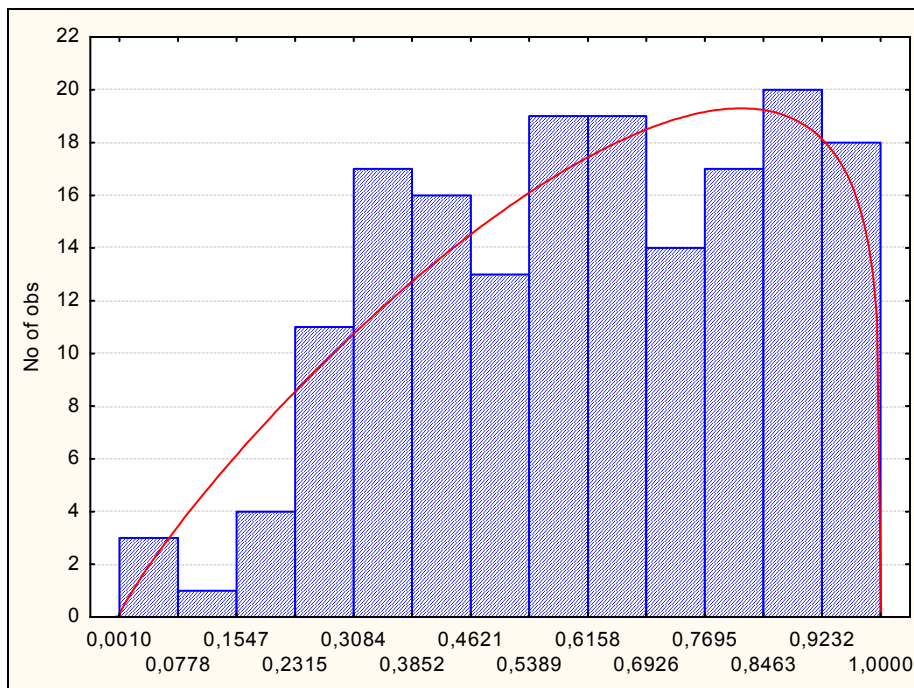


Figura 5.6 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

## 5.2 CROMO

### 5.2.1 A série de dados da FURG

A Figura 5.7 mostra o comportamento do Cr nos 12 testemunhos realizados pela FURG. Destaca-se o fato de que todos os valores analisados estão abaixo do Nível I ( $8,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para águas salino-salobras, estabelecido na Resolução Conama N.º 344/2004.

A tendência dos dados é não significativa ao nível  $\alpha = 0,05$ , para os três níveis de observação, com valores  $t = 1,449$ ;  $0,819$  e  $-1,268$ , para os níveis Topo, Meio e Fundo, respectivamente. Contudo, ao contrário do observado para os dados nos níveis Topo e Meio, cujos valores são decrescentes, no sentido estuário-oceano (do testemunho 12 ao 1), os valores de Fundo têm comportamento inverso.

Os coeficientes de correlação ( $r$ ) para os níveis Topo e Meio foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, obtendo um valor  $r = 0,741$ . Para as correlações entre os níveis Topo e Fundo e Meio e Fundo as correlações foram, respectivamente,  $-0,219$  e  $0,007$ .

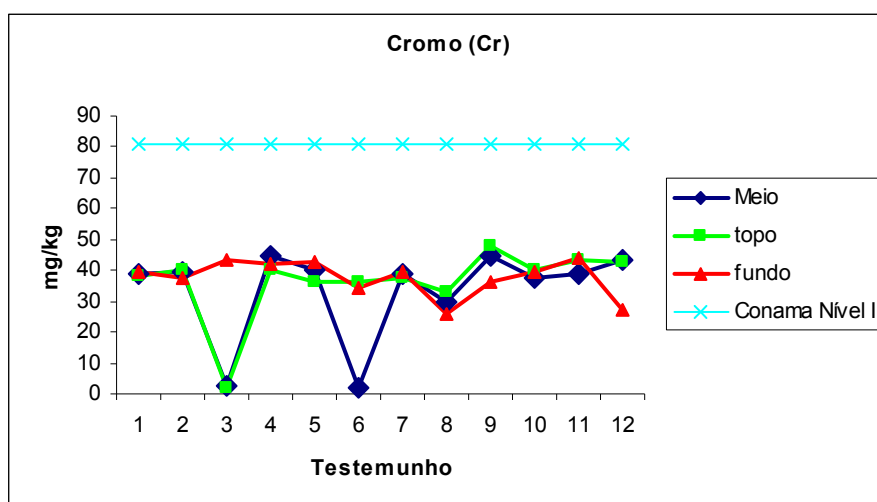


Figura 5.7 – Comportamento do Cr nos testemunhos amostrados pela FURG.

A comparação das médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (Topo, Meio e Fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foi significativa. Os valores da média e da variância, das 20 observações, obtidas para os testemunhos estudados nos três níveis (Topo, Meio e Fundo) estão apresentados na Tabela 5.8. O resultado dos testes de comparação entre as médias estão dispostos na Tabela 5.9.

Tabela 5.8 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cr, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	36,434	32,418	37,577
<i>Variância</i>	132,691	227,106	33,679

Tabela 5.9 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,551	0,588
<i>Topo – Fundo</i>	-0,307	0,763
<i>Meio – Fundo</i>	-0,892	0,387

O teste  $F$ , da razão entre as variâncias dos níveis Topo e Meio, não foi significativo ao nível de 5%, para as outras duas comparações resultou significativo. O teste  $t$ , para comparação de médias, resultou em valores não significativos ao nível  $\alpha=0,05$ . Estes resultados conduziram à aceitação da hipótese de nulidade, de que não existem diferenças significativas entre as médias das observações. Salienta-se o elevado valor obtido, nos três níveis para o nível de significância do teste. Estes valores atestam com elevado nível de rigor a igualdade do comportamento dos dados, nos diferentes níveis em estudo.

### 5.2.2 A série de dados da MRS

A Figura 5.8 mostra o comportamento dos dados fornecidos pela MRS para os testemunhos 81 a 111, nos três níveis (Topo, Meio e Fundo). Da mesma forma que os valores apresentados pela FURG, os dados da MRS ficaram abaixo do valor limite ( $81 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), estabelecido para o Nível I da Resolução 344 (Conama, 2004).

Os valores da média e da variância, das observações de Cr, obtidas para os testemunhos, nos três níveis de observação, são apresentados na Tabela 5.10. O teste *t*, para comparação entre as médias, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , resultou não significativo (Tabela 5.11).

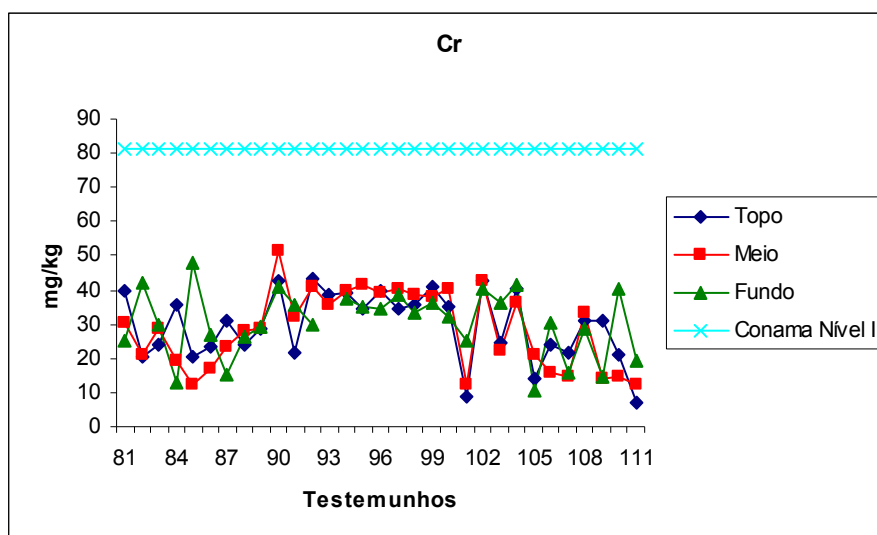


Figura 5.8 – Comportamento do Cr nos testemunhos amostrados pela MRS.

Tabela 5.10 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cr, nos diferentes níveis do sedimento.

	Topo	Meio	Fundo
<i>Média</i>	29,613	28,574	30,377
<i>Variância</i>	100,737	128,513	94,587

Tabela 5.11 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	$t$	$P(t)$
<b>Comparações</b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,382	0,704
<i>Topo – Fundo</i>	-0,302	0,764
<i>Meio – Fundo</i>	-0,666	0,508

Resultaram homogêneas as variâncias das três comparações estabelecidas entre os níveis Topo, Meio e Fundo. O resultado do teste  $t$  resultou, para todas as comparações, não significativo ao nível de significância de 5%. Portanto, aceita-se a hipótese de que não existem diferenças entre as médias dos três níveis em tela. Outrossim, destaca-se os elevados níveis de significância obtidos para as três comparações.

### 5.2.3 Comparação entre as séries de dados da FURG e da MRS

A partir dos resultados individuais de cada série procedeu-se a comparação destas entre si ( $Cr_{MRS}-Cr_{FURG}$ ). O teste de homogeneidade de variâncias resultou não significativo. O valor de  $t = -7,716$ , resultou significativo ( $NS = 3,994 \times 10^{-8}$ ). Portanto, rejeita-se, ao nível de 5% de significância, a hipótese de nulidade formulada de que as diferenças entre as duas séries de dados seriam nulas ( $H_0: DM = 0$ ).

Na Tabela 5.12 apresenta-se, uma série de medidas de posição, de dispersão e de forma, com o intuito de melhor descrever as séries em estudo. A Figura 5.9, explicita a distribuição das séries em estudo, a partir das distâncias interquartílicas.

Pode-se observar que os valores e as distribuições dos dados das duas séries são muito discrepantes. Contudo, destaca-se que o CV, de ambas, possui o mesmo grau de magnitude. A série da FURG atingiu valores máximos muito superiores aos encontrados pela MRS.

Em relação à forma, as duas séries são semelhantes, conquanto os valores da distância interquartílica para os dados da MRS sejam mais homogêneos em relação aos da FURG. Para esta série, a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil é muito pequena quando comparada

às amplitudes dos quartis inferior e superior. Ambas as séries possuem uma leve assimetria à esquerda.

A Figura 5.9 explicita melhor a distribuição dos dados. Enquanto nos dados colhidos pela FURG há uma concentração dos valores nas classes centrais com uma distribuição aproximadamente Normal, nos dados da MRS há uma tendência de concentração dos valores nas classes superiores.

Os valores extremos plotados nos gráficos da Figura 5.10, referem-se aos limites superiores e inferiores das duas séries. Percebe-se que para os dados da MRS apenas uma observação superou o valor de  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Para os dados da FURG apenas uma observação superou o limite de  $81 \text{ mg.kg}^{-1}$  estabelecido pela Resolução Conama 344/04. O limite inferior do intervalo de confiança da média dos dados da FURG, foi  $38,95 \text{ mg.kg}^{-1}$  enquanto que o limite superior dos dados da MRS foi de  $30,68 \text{ mg.kg}^{-1}$ , reforçando que existe diferença significativa entre as duas séries de dados.

Tabela 5.12 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Cr).

<i>Estadísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	43,547	28,574
<i>Desvio Padrão</i>	14,412	10,630
<i>Coef. Variação</i>	0,331	0,372
<i>Amplitude</i>	80,500	50,760
<i>Mínimo</i>	2,000	0,740
<i>1º Quartil</i>	37,890	20,900
<i>Mediana</i>	42,840	29,400
<i>3º Quartil</i>	49,500	37,400
<i>Máximo</i>	82,500	51,500
<i>Assimetria</i>	0,152	-0,334
<i>Curtose</i>	2,706	-0,708



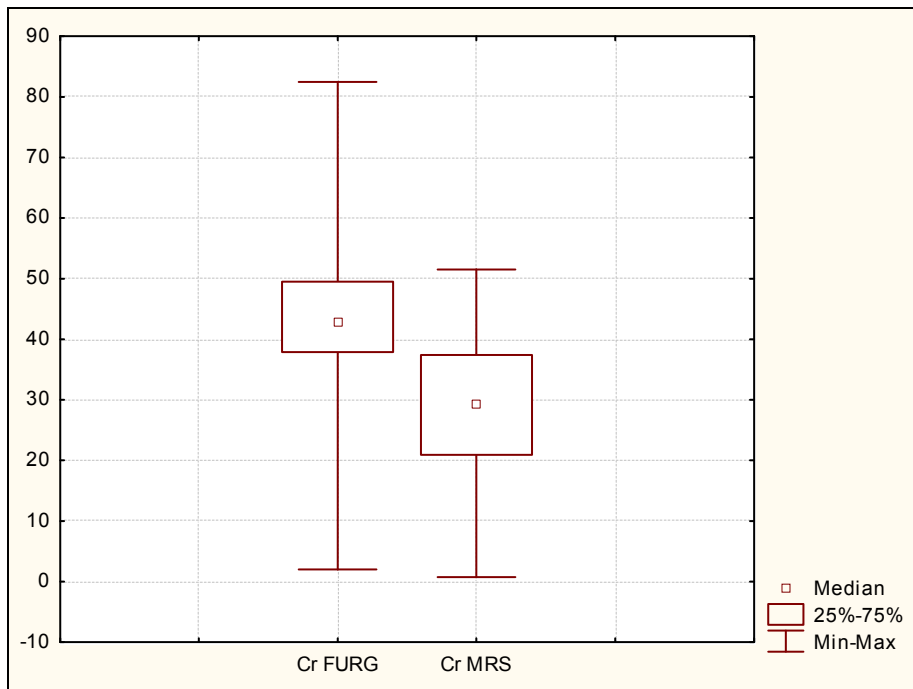


Figura 5.9 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Cr.

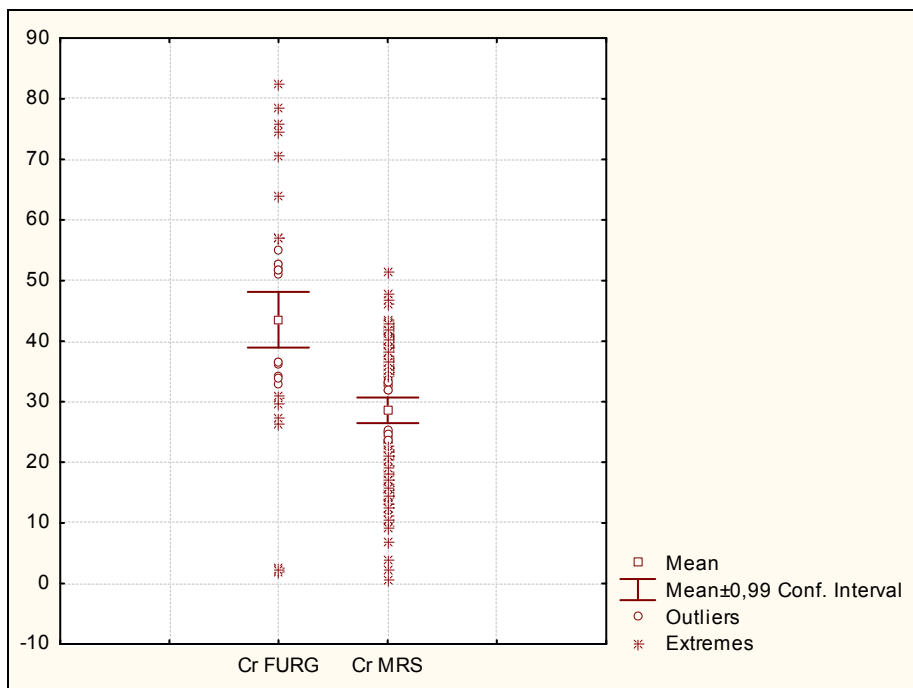


Figura 5.10 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Cr.

#### 5.2.4 Ajustes dos dados às distribuições de probabilidade

Para os dados da FURG a distribuição que melhor representou os dados observados foi a Distribuição Normal com  $NS = 0,121$ . A outra distribuição que apresentou um ajuste significativo, ao nível  $\alpha = 0,05$ , foi a distribuição Beta, com  $NS = 0,072$  (Tabela 5.12).

A distribuição Beta, para os dados da MRS, foi a que melhor representou este conjunto de dados com um  $NS = 0,440$ . As distribuições Normal e Weibull, também obtiveram ajustes significativos, ao nível de 5% de probabilidade, com  $NS = 0,114$  e  $0,770$ , respectivamente, contudo, muito abaixo do obtido pela distribuição Beta (Tabela 5.13). Destaca-se que, ambas as distribuições superestimam os valores extremos superiores, contudo, à distribuição Normal este efeito é relativamente menor.

A partir dos parâmetros apresentados nas Tabelas 5.13 e 5.14, pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de Cr. Utilizando-se, para os dados da FURG, a distribuição Normal ( $\bar{X} = 43,547$  e  $s = 14,412 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cr) verifica-se que a probabilidade de ocorrência de valores iguais ou superiores ao limite estabelecido para o Nível I da Resolução 344, do Conama ( $Cr = 81 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) é  $P = 0,004679$ . Caso se utilize a distribuição Beta, obtém-se para os dados da FURG uma probabilidade  $P = 0,000035$ , do valor limite estabelecido para o Cr, ser superado.

Tabela 5.13 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cr às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS		
	$\alpha$	$\beta$	K-S	A	$\beta$	K-S
<i>Beta</i>	3,493	3,273	0,155	2,540	2,095	<b>0,061</b>
<i>Gama</i>	4,425	0,102	0,252	4,932	0,173	0,020
<i>Weibull</i>	3,030	47,803	0,188	2,973	31,896	0,097

Tabela 5.14 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cr às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS		
	$\bar{X}$	$s$	K-S	$\bar{X}$	$s$	K-S
<i>Log-Normal</i>	48,159	35,588	0,296	29,859	17,584	0,145
<i>Normal</i>	43,547	14,412	<b>0,143</b>	28,571	10,631	<b>0,091</b>

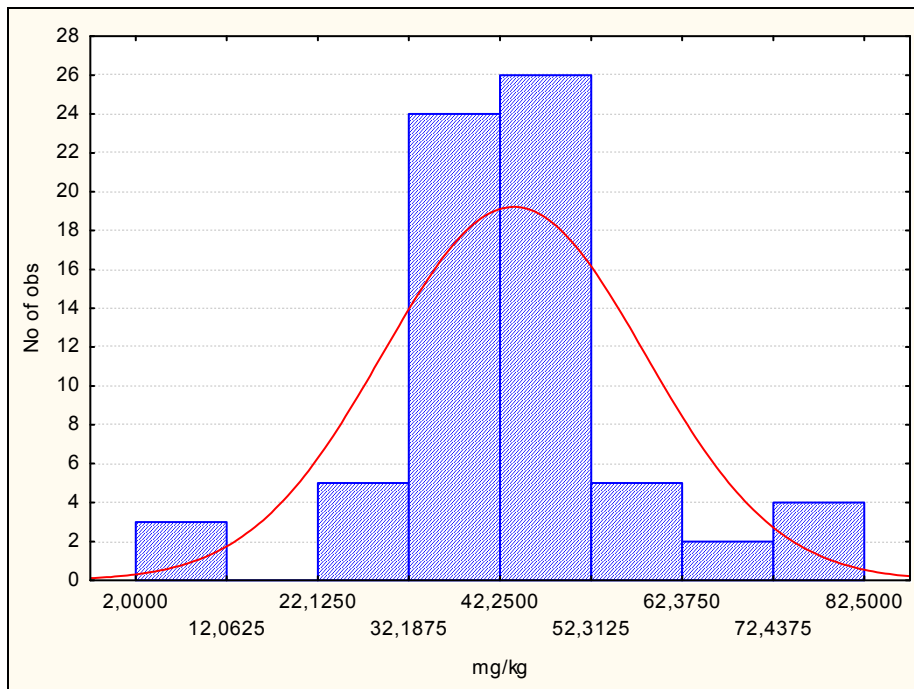


Figura 5.11 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG.

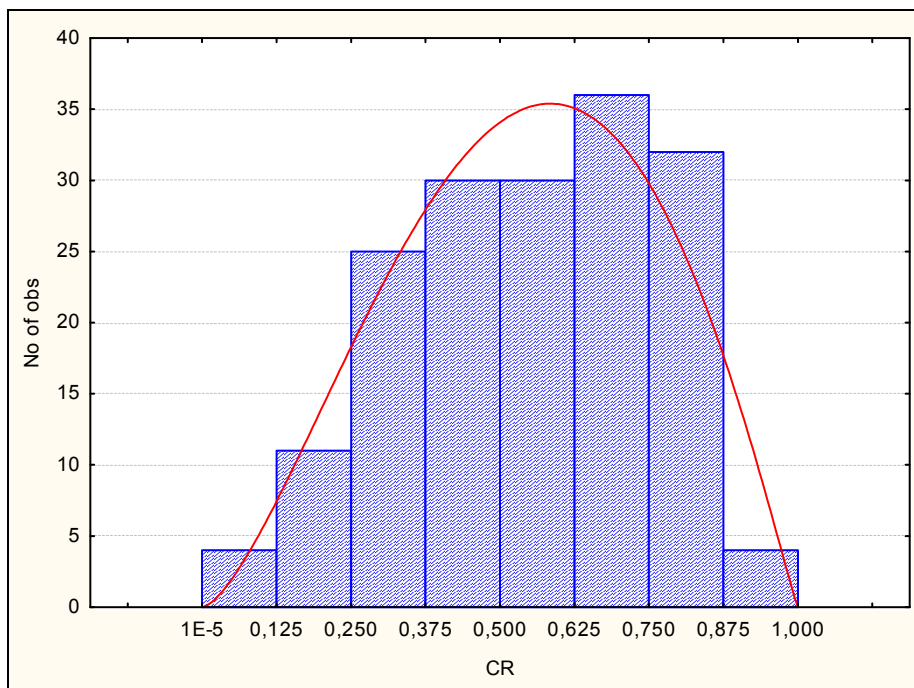


Figura 5.12 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

## 5.3 COBRE

### 5.3.1 A série de dados da FURG

Diversas observações de Cu aproximaram-se do limite estabelecido pelo Conama para o Nível I ( $34 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), para águas salino-salobras (Conama, 2004), ainda que, em várias amostras os valores encontrados sejam muito próximos deste limiar. A Figura 5.13 mostra o comportamento do Cu nos 12 testemunhos realizados pela FURG. Os resultados da análise de tendência, nos três níveis em estudo, para o nível  $\alpha = 0,05$  resultou não significativa para todos os níveis. Os valores de  $t$ , para os níveis Topo, Meio e Fundo foi, respectivamente, de  $t = 1,435$ ;  $1,070$  e  $-0,274$ . Ainda que não significativa, existe uma tendência decrescente nos valores, no sentido estuário-oceano, para os níveis Topo e Meio.

O coeficiente de correlação, para as combinações Topo-Meio foi significativa, a 5% de probabilidade, com  $r = 0,789$ . Para níveis Topo-Fundo e Meio-Fundo a correlação foi não significativa com índices de  $r = -0,395$  e  $r = -0,042$ , respectivamente.

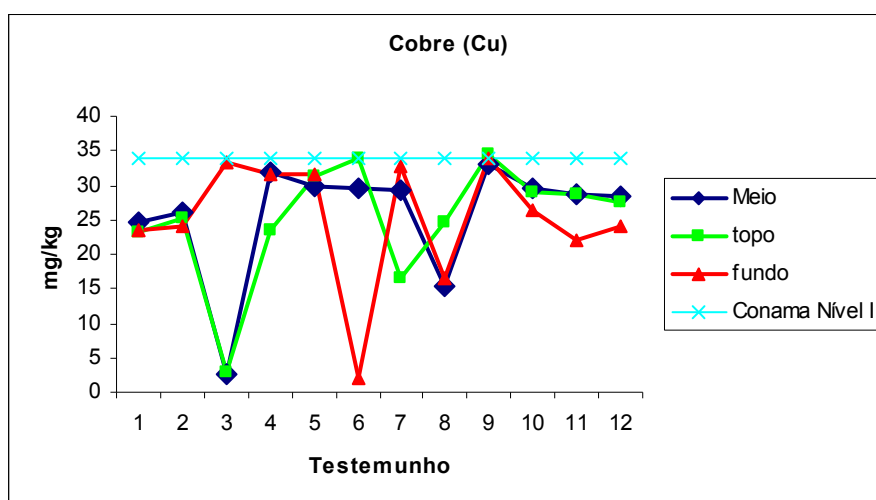


Figura 5.13 – Comportamento do Cu nos testemunhos amostrados pela FURG.

A comparação das médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foi significativa. As estatísticas utilizadas no teste são apresentadas na Tabela 5.15 e os resultados das comparações das médias dos três níveis na Tabela 5.16.

Tabela 5.15 – Estatísticas utilizadas na comparação do As, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	25,085	25,743	25,198
<i>Variância</i>	74,082	73,213	82,222

Tabela 5.16 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	-0,188	0,853
<i>Topo – Fundo</i>	-0,031	0,975
<i>Meio – Fundo</i>	-0,152	0,881

Nas três comparações estabelecidas, o teste  $F$  da razão entre as variâncias, resultou não significativo, ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ . O teste  $t$ , resultou em valores não significativos ao nível de significância de 5%. Estes resultados conduzem à aceitação da hipótese de nulidade, de que não existem diferenças significativas entre as médias dos dados observados nos três níveis.

### 5.3.2 A série de dados da MRS

A Figura 5.14 mostra o comportamento do Cu, nos testemunhos 81 a 111, para os três níveis de observação. Ao contrário dos dados observados pela FURG, vários dos valores apresentados pela MRS, superaram o valor limite estabelecido, pelo Conama, para o Nível I.

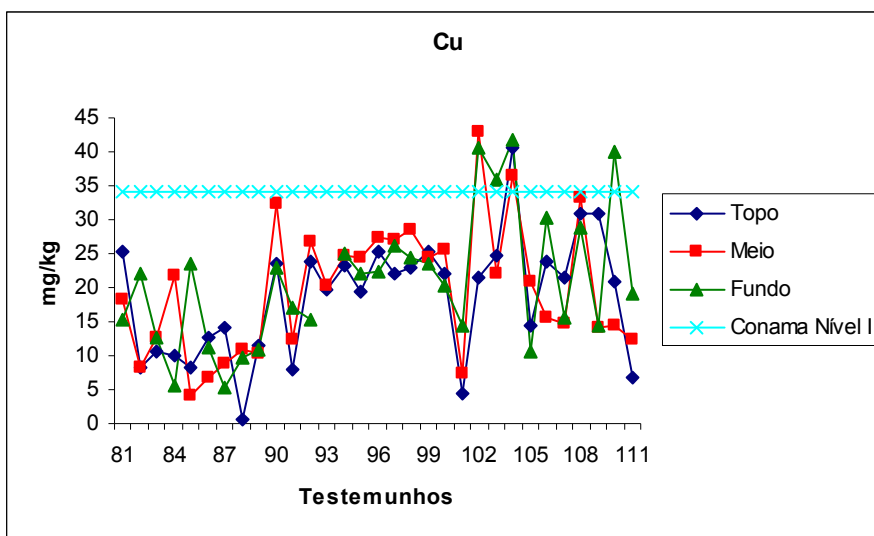


Figura 5.14 – Comportamento do Cu nos testemunhos amostrados pela MRS

A Tabela 5.17 apresenta a média e a variância das observações, nos três níveis. Os resultados dos testes de comparação da diferença entre as médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste *t*, ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foram significativos. Os resultados dos testes, para as três comparações estabelecidas, são apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.17 – Estatísticas utilizadas na comparação do Cu nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	15,879	16,482	17,118
<i>Variância</i>	53,747	70,768	42,320

Tabela 5.18 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><i>t</i></b>	<b><i>P (t)</i></b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	-0,301	0,764
<i>Topo – Fundo</i>	-6,973	0,488
<i>Meio – Fundo</i>	-0,329	0,743

O teste  $F$ , para as três comparações estabelecidas entre os níveis em estudo, resultou não significativo, ao nível de significância de 5%. O teste  $t$  resultou não significativo para as três comparações em tela. Portanto, aceita-se a hipótese de nulidade ( $H_0: DM=0$ ).

### 5.3.3 Comparação das duas séries de dados (FURG – MRS)

Diversas medidas de posição, de dispersão e de forma dos dados, são apresentadas na Tabela 5.19. Pode-se observar que as médias e medianas, em cada uma das séries, tem valores próximos, conquanto muito diferentes entre si. Embora os valores, médio e mediano, observados pela FURG, sejam superiores aos da MRS, esta série encontrou valores máximos superiores. Destaca-se também que o CV da série da MRS é menor que o da FURG, explicitando uma maior consistência dos dados. Os gráficos de B&W, mostrados na Figura 5.15 explicitam melhor a forma das distribuições dos dados.

Tabela 5.19 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Cu).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	26,470	17,886
<i>Desvio Padrão</i>	6,840	8,523
<i>Coef. Variação</i>	0,258	0,477
<i>Amplitude</i>	35,150	42,360
<i>Mínimo</i>	2,150	0,444
<i>1º Quartil</i>	24,200	10,950
<i>Mediana</i>	27,400	17,150
<i>3º Quartil</i>	30,800	23,700
<i>Máximo</i>	37,300	42,800
<i>Assimetria</i>	-1,837	0,430
<i>Curtose</i>	4,669	0,170



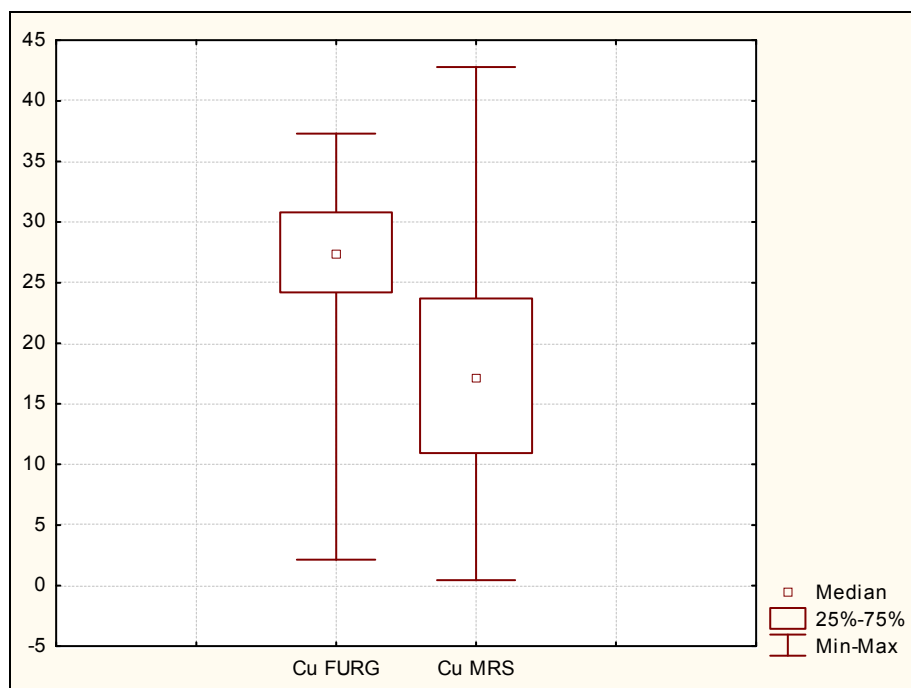


Figura 5.15 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Cu.

Em relação à forma, as distribuições possuem assimetria inversa. Enquanto os dados da FURG possuem uma assimetria à esquerda, nos da MRS, a assimetria é à direita. Os histogramas de ambas as séries, apresentados nas Figuras 5.17 e 5.18, explicitam melhor a distribuição dos dados. Enquanto nos dados colhidos pela FURG há uma preponderância dos valores superiores, os dados obtidos pela MRS concentram-se nas classes inferiores.

O limite superior do intervalo de confiança da média (0,99) de Cu, para os dados da FURG ( $28,65 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) é muito superior àquela verificada pela MRS. Ao analisar a distribuição dos valores extremos (Figura 5.16), dos dados da FURG percebe-se que estes, em sua grande maioria, ficaram abaixo do limite de  $35 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Por outro lado, destaca-se que os valores extremos da série da MRS ultrapassaram o valor de  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

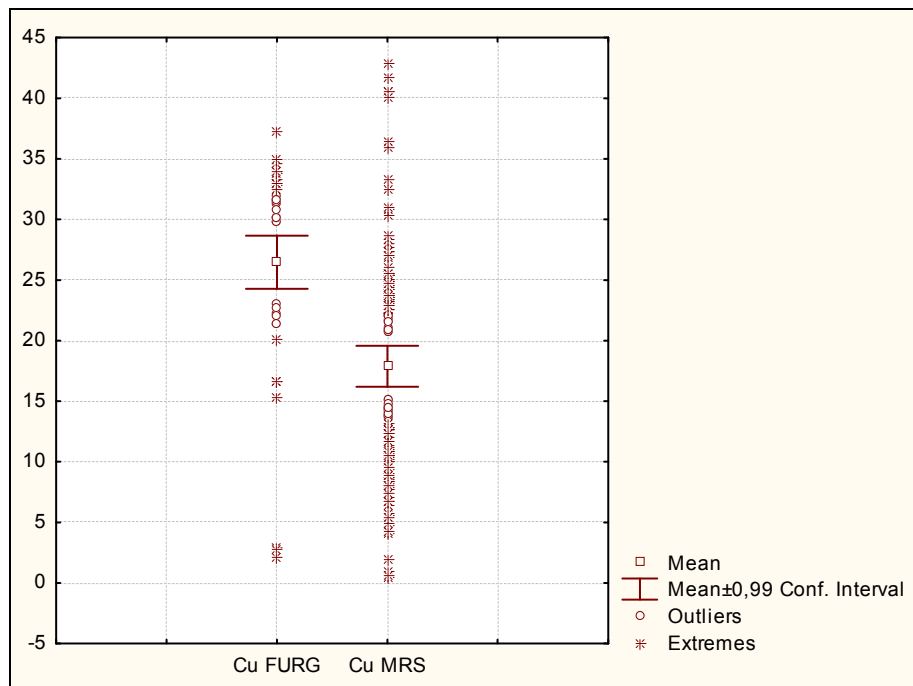


Figura 5.16 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Cu.

### 5.3.4 Ajustes das distribuições de probabilidade

Para ambas as séries, a distribuição Beta foi a que melhor ajustou-se aos dados observados. Para os dados da FURG e MRS, o nível de ajuste foi, respectivamente de 0,189 e 0,161. Embora não tenham atingido elevados níveis de significância, destacam-se em relação às outras distribuições. Para os dados da FURG, as distribuições de Weibull e Normal, também foram significativas, conquanto com níveis de ajuste bem inferiores ao atingido pela distribuição Beta. Em relação aos dados da MRS, todas as outras distribuições foram não significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto a capacidade de prever adequadamente os dados, levando-se em conta os parâmetros apresentados nas Tabelas 5.20 e 5.21, percebe-se que a melhor curva é aquela ajustada aos dados da MRS. Embora com nível de ajuste relativamente menor, este conjunto de dados

possui limites superiores relativamente maiores. Assim a probabilidade do valor limite, para o Nível I da Conama 344/04 ( $34 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ser superado é de  $P = 0,0348$ .

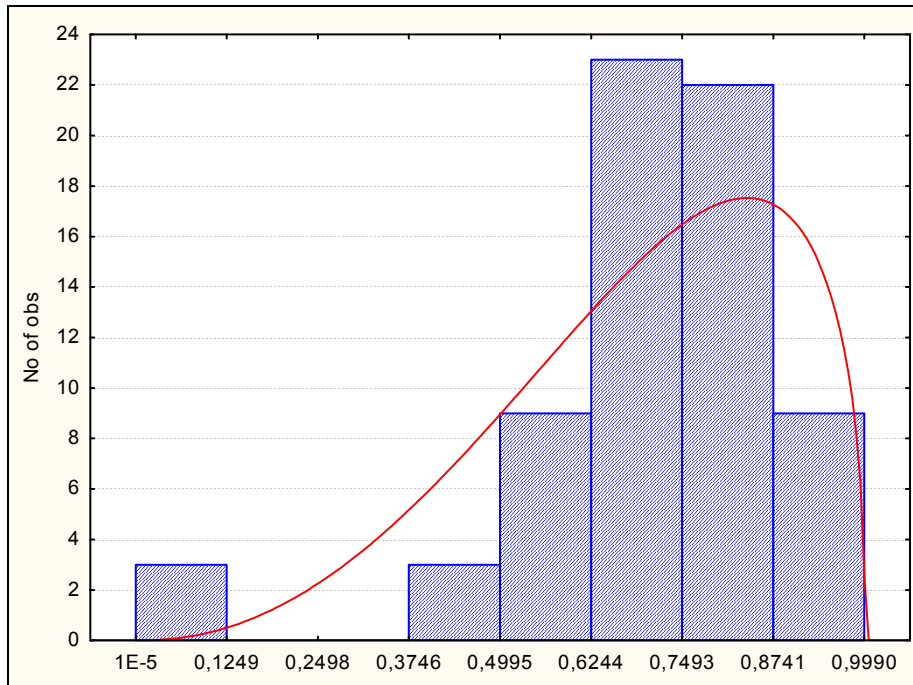


Figura 5.17 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da FURG.

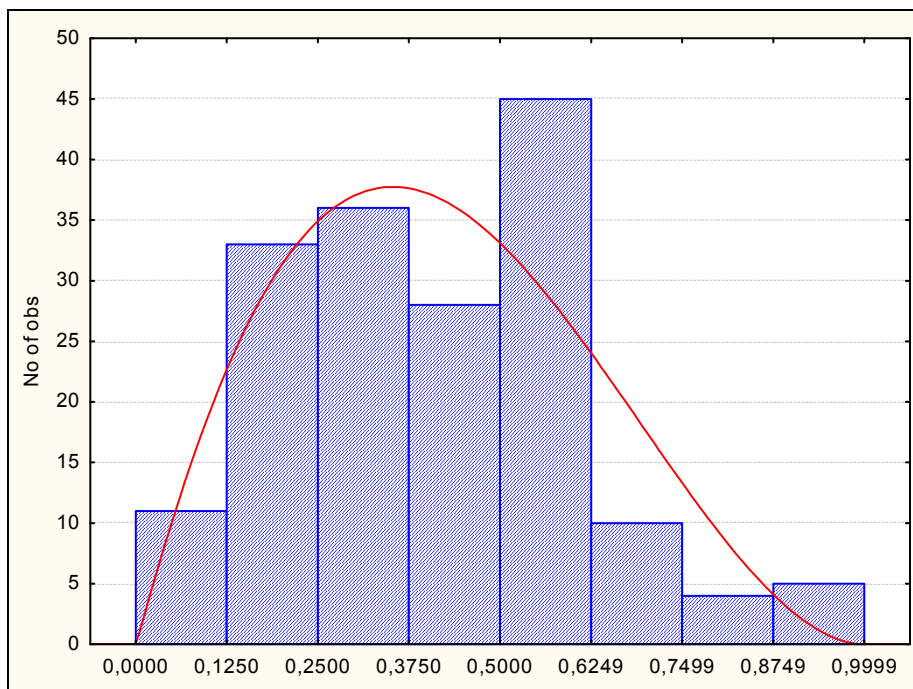


Figura 5.18 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

Tabela 5.20 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cu às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	3,244	1,434	<b>0,131</b>	<b>0,189</b>	2,052	2,930	<b>0,086</b>	<b>0,161</b>
<i>Gama</i>	6,605	0,250	0,245	$0,51 \times 10^{-3}$	3,505	0,217	0,106	0,041
<i>Weibull</i>	4,733	28,557	0,148	0,097	2,390	18,133	0,112	0,026

Tabela 5.21 – Parâmetros de ajuste dos dados de Cu às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	27,989	15,479	0,295	$0,12 \times 10^{-4}$	17,245	12,633	0,132	0,005
<i>Normal</i>	26,469	6,838	0,152	0,084	16,153	7,148	0,108	0,035

## 5.4 MERCÚRIO

### 5.4.1 A série da FURG

Na Figura 5.19 pode-se observar que várias realizações do Hg estão muito acima do limite estabelecido para o Nível I ( $0,150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e algumas acima do Nível II ( $0,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), da Resolução 344 (Conama ,2004).

Em geral os níveis, Topo e Meio, têm um comportamento semelhante, com coeficiente de correlação  $r = 0,640$ , significativo ao nível de 5% de probabilidade. As correlações relativas às outras combinações possíveis entre os três níveis foram baixas e negativas. Entre os níveis Topo e Fundo a correlação foi  $r = -0,196$  e entre o Meio e o Fundo  $r = -0,383$ , não significativas. Nos níveis Topo e Meio, o comportamento é semelhante, há um decréscimo nos valores observados no sentido do oceano (do testemunho 12 ao 1) enquanto que, para o nível de Fundo, os valores decrescem em sentido contrário.

Pela análise de regressão, para os três níveis em tela, constata-se que a tendência dos dados não é significativa ao nível  $\alpha = 0,05$ . Com valores respectivos, de  $t = 0,935$ ;  $0,186$  e  $-0,132$ , para os níveis Topo, Meio e Fundo.

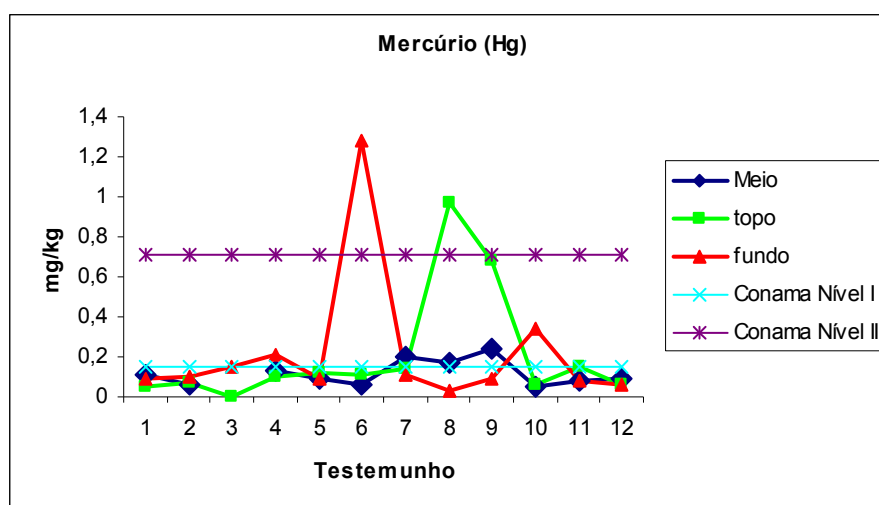


Figura 5.19 – Comportamento do Hg nos testemunhos amostrados pela FURG.

Resultaram não significativas as comparações entre as médias dos valores amostrais de Hg, (Tabela 5.22) nos três níveis estudados (Topo, Meio e Fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Os resultados dos testes de comparação na Tabela 5.23.

Tabela 5.22 – Estatísticas utilizadas na comparação do Hg nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	0,211	0,117	0,220
<i>Variância</i>	0,089	0,004	0,119

Tabela 5.23 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	1,064	0,308
<i>Topo – Fundo</i>	-0,068	0,946
<i>Meio – Fundo</i>	-0,974	0,342

Para a comparação entre os níveis Topo e Meio o teste  $F$  resultou significativo, ao nível de 5%. Para as outras duas comparações as variâncias foram consideradas homogêneas. O teste  $t$ , ao nível  $\alpha = 0,05$ , para as três comparações apresentadas, resultou não significativo. Portanto se aceita a hipótese formulada de que não existe diferença entre as médias dos níveis estudados ( $H_0: DM=0$ ).

Os dados fornecidos pela MRS, não foram considerados neste estudo porque, das 172 amostras realizadas naquele trabalho, 107 estiveram abaixo do limite de detecção do método utilizado (Standad Methods 3112B) e, em outras 63 amostras, o mercúrio não foi detectado. Somente em duas delas o Hg foi detectado (0,333 e 0,560 mg.kg<sup>-1</sup> de Hg), ambas acima do limite estabelecido pelo Conama, para o Nível I em águas salino-salobras.

Na Tabela 5.24 são apresentadas medidas de forma, de dispersão e posição, a partir das observações verificadas pela FURG. Destaca-se, sobretudo, o valor máximo dos dados observados, muito acima do limite estabelecido para o Nível II, na Resolução 344. O elevado valor do CV denota a extrema variabilidade dos dados observados.

Tabela 5.24 – Medidas estatísticas para a série de dados em estudo (Hg).

<i>Estatísticas</i>	FURG
<i>Nº. de Obs.</i>	68
<i>Média</i>	0,142
<i>Desvio Padrão</i>	0,197
<i>Coef. Variação</i>	1,387
<i>Amplitude</i>	1,281
<i>Mínimo</i>	0,002
<i>1º Quartil</i>	0,068
<i>Mediana</i>	0,096
<i>3º Quartil</i>	0,137
<i>Máximo</i>	1,283
<i>Assimetria</i>	4,453
<i>Curtose</i>	21,463

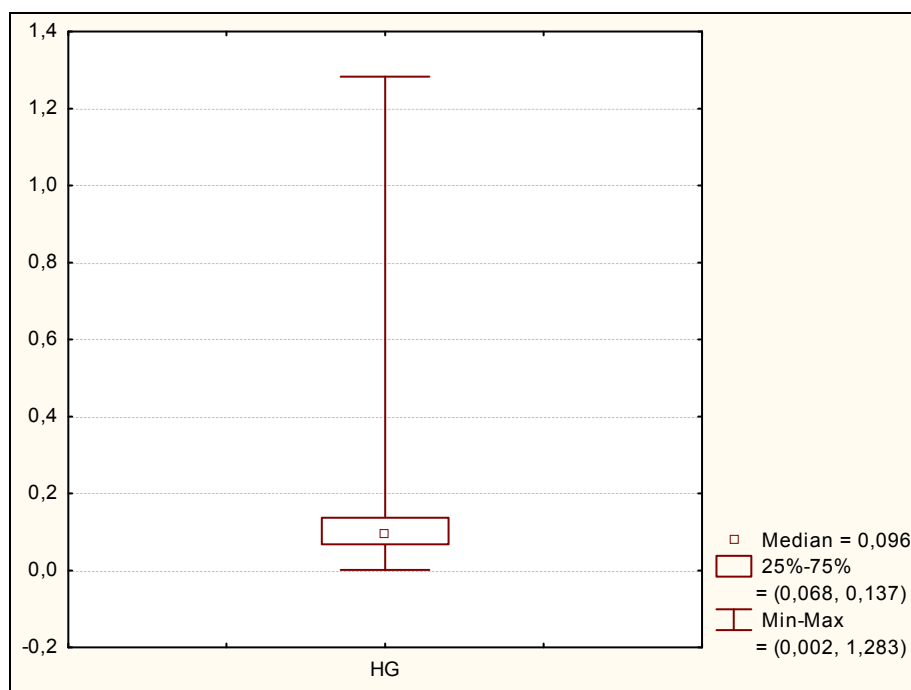


Figura 5.20 – Gráfico de Box &amp; Whisker com as distâncias interquartílicas de Hg.

A forte assimetria à direita, explicita a grande amplitude de variação dos valores extremos superiores. O quartil superior que congrega os 25% das observações tem seu limite inferior em  $0,137 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg, muito acima do limiar estabelecido para o Nível 2. Da mesma forma

a classe modal, com 85% das observações, é a classe que congrega os valores extremos inferiores, compreendidos entre 0,002 e 0,162 mg.kg<sup>-1</sup> de Hg. Destaca-se que o limite superior da classe modal ultrapassa o valor estabelecido pelo Conama para águas salino-salobras. O histograma mostrado na Figura 5.22 explicita melhor a distribuição dos dados.

Pode-se verificar na Figura 5.21, que apenas cinco valores ficaram fora do intervalo de confiança da média (IC=0,99). Contudo, destaca-se que, mesmo o limite superior do IC, está acima do limite permitido para o Nível I, 0,71 mg.kg<sup>-1</sup> de Hg, (Conama, 2004).

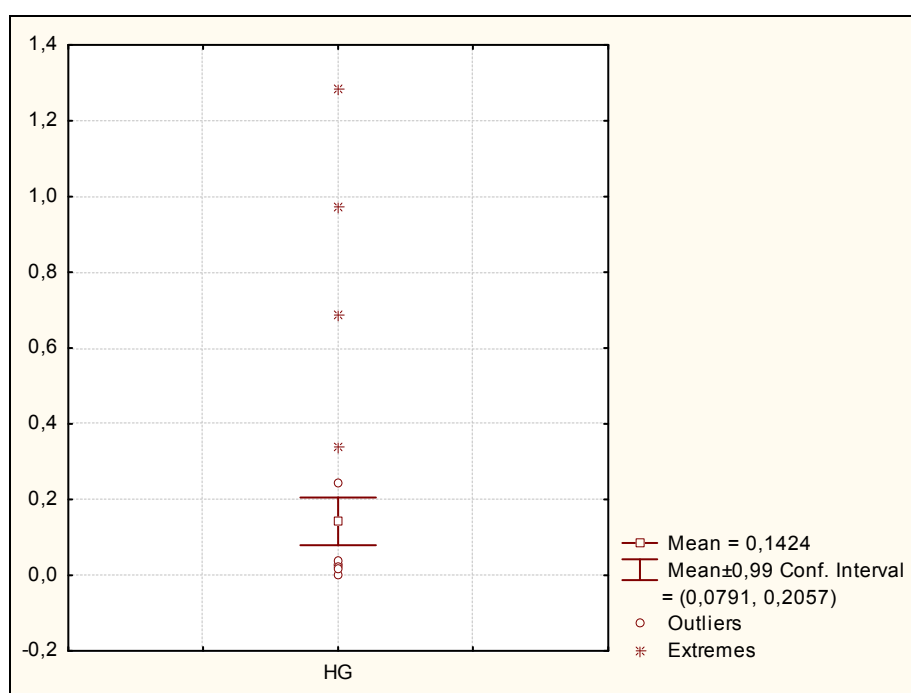


Figura 5.21 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Hg.

#### 5.4.2 Ajustes das distribuições de probabilidades

Para a série em análise, o melhor ajuste aos dados observados foi obtido pela distribuição Log-normal. O nível de significância para a série foi NS = 0,100. Ainda que com ajuste significativo, esta distribuição não conseguiu prever adequadamente os limites extremos observados, como pode ser visualizado na Figura 5.22.



Ainda que não tenha conseguido prever os limites extremos dos dados observados, esta distribuição atinge valores superiores a  $1,01 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg ( $P = 0,999$ ). Neste sentido ressalta-se que, apenas uma das observações superou o valor de  $1,00 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg, nas amostras analisadas. Destarte, considera-se a distribuição Log-normal suficientemente adequada para prever as probabilidades de ocorrência deste elemento.

A partir dos parâmetros da distribuição Log-normal, apresentados na Tabela 5.26, pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de Hg. A probabilidade de obter-se valores de Hg, iguais ou superiores, ao estabelecido pelo Conama para o Nível I ( $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), em águas salino-salobras, é  $P = 0,473072$  e a probabilidade de o valor estabelecido para o Nível II ( $0,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) ser igualado ou superado é  $P = 0,00966$ .

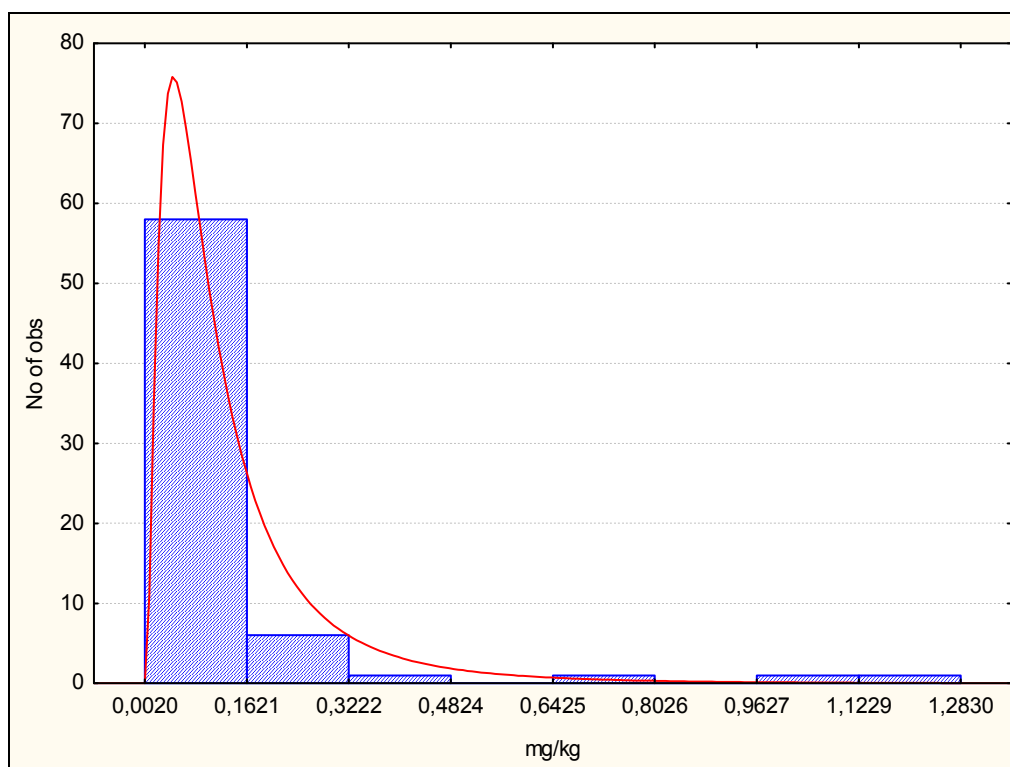


Figura 5.22 – Ajuste da distribuição Log-Normal aos dados da FURG.

Tabela 5.25 – Parâmetros de ajuste dos dados de Hg às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS)

FURG				
<i>Distribuições</i>	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	0,339	2,792	0,372	$1,06 \times 10^{-8}$
<i>Gama</i>	1,360	9,680	0,187	0,016
<i>Weibull</i>	1,049	0,144	0,182	0,021

Tabela 5.26 – Parâmetros de ajuste dos dados de Hg às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

FURG				
<i>Distribuições</i>	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	0,139	0,155	<b>0,147</b>	<b>0,100</b>
<i>Normal</i>	0,140	0,196	0,316	$2,11 \times 10^{-6}$

## 5.5 NÍQUEL

### 5.5.1 A série da FURG

Percebe-se pela análise da Figura 5.23 que diversos valores observados, nos diferentes níveis, encontram-se acima do limite estabelecido para o Nível I (20,9 mg.kg<sup>-1</sup>).

Os níveis Topo e Meio têm comportamento semelhante com coeficiente de correlação  $r = 0,680$ , significativo a de 5% de probabilidade. Nas comparações Topo-Fundo e Meio-Fundo a correlação não foi significativa, com índices de  $r$  iguais a 0,10 e 0,11, respectivamente.

Ao analisar-se a tendência dos dados, para os três níveis em tela, por meio de uma regressão linear, constata-se que esta é não significativa ao nível  $\alpha = 0,05$  ( $t = 1,796$ ). Com valores  $t = 1,592$ ; 0,959 e -0,455, para os níveis Topo, Meio e Fundo, respectivamente. Salienta-se, entretanto que, ao contrário do observado para os dados nos níveis Topo e Meio, cujos valores são decrescentes, no sentido estuário-oceano (do testemunho 12 ao 1) os valores de Fundo têm comportamento inverso.

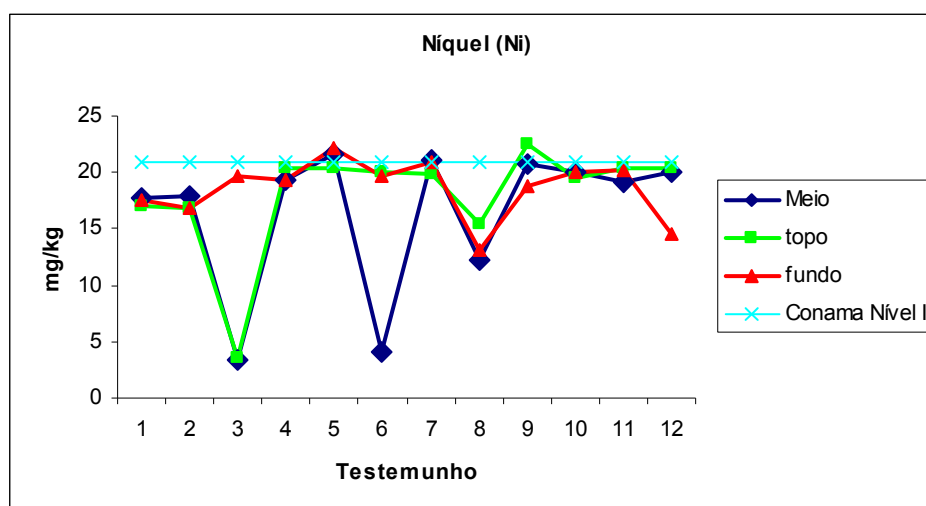


Figura 5.23 – Comportamento do Ni nos testemunhos amostrados pela FURG.

A comparação das médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , não foi significativa. Os valores da média e da variância, das 12 observações, obtidos para os testemunhos estudados nos três níveis são apresentados na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 – Estatísticas utilizadas na comparação do Ni, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	18,038	16,453	18,581
<i>Variância</i>	24,788	41,856	6,962

Tabela 5.28 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,673	0,509
<i>Topo – Fundo</i>	-0,334	0,743
<i>Meio – Fundo</i>	-1,055	0,308

O teste de variâncias resultou homogêneo para as três comparações entre os níveis estudados. O teste  $t$  resultou não significativo para todas as comparações, conduzindo à aceitação da hipótese de nulidade ( $H_0: DM=0$ ). Salienta-se os elevados níveis de significâncias atingidos, todos superiores a 30%.

### 5.5.2 A série da MRS

O comportamento dos dados da MRS, nos três níveis (Topo, Meio e Fundo) é mostrado na Figura 5.24. Ao contrário dos valores observados pela FURG, apenas um dos dados da MRS atingiu o limite estabelecido pelo Conama para o Nível I ( $20,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

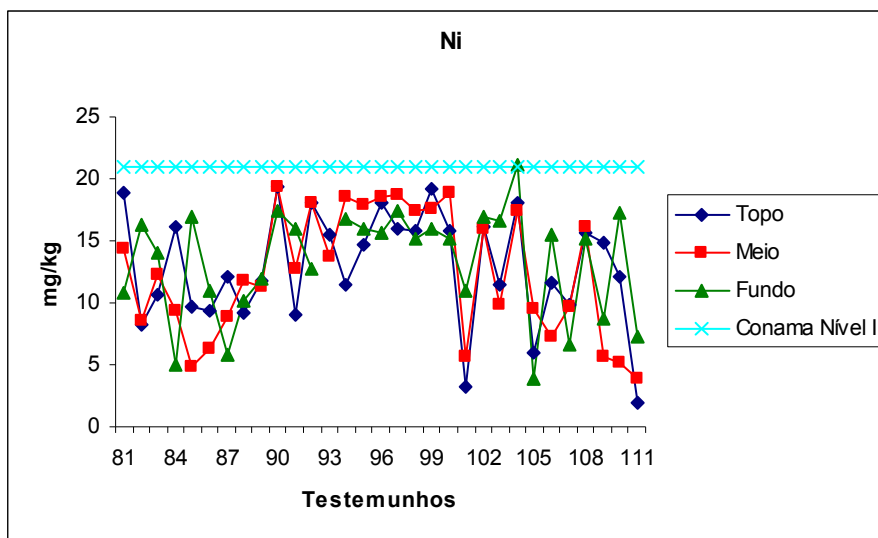


Figura 5.24 – Comportamento do Ni nos testemunhos, amostrados pela MRS

Os testes de comparação das médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (Tabela 5.29) pelo teste *t*, ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foram significativas. Os resultados individuais de cada comparação são apresentados na Tabela 5.30.

Tabela 5.29 – Estatísticas utilizadas na comparação do Ni, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	13,074	14,447	13,346
<i>Variância</i>	21,311	42,698	19,161

Tabela 5.30 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><i>t</i></b>	<b><i>P (t)</i></b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	-0,955	0,343
<i>Topo – Fundo</i>	-0,236	0,814
<i>Meio – Fundo</i>	0,770	0,444

Nas três comparações o teste  $F$  resultou não significativo, indicando homogeneidade de variâncias entre os níveis estudados. O teste  $t$  resultou não significativo, ao nível de 5% de significância, para todas as comparações, conduzindo à aceitação da hipótese de nulidade ( $H_0: DM=0$ ). Destaca-se os elevados níveis de significâncias atingidos, todos superiores a 30%, o que indica uma elevada consistência na aceitação da hipótese de que não existem diferenças entre as médias das observações nos diferentes níveis do sedimento.

### 5.5.3 Comparação entre as séries (FURG – MRS)

A partir dos resultados individuais de cada série, procedeu-se a comparação destas entre si. O teste da razão entre variâncias resultou não significativo. A hipótese de nulidade ( $H_0: DM = 0$ ) foi verificada por meio do teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). O valor de  $t = -5,678$ , resultou significativo (NS =  $4,51192 \times 10^{-8}$ ). Portanto, rejeita-se a hipótese formulada, ao nível  $\alpha = 0,05$ , de que as diferenças entre as médias das duas séries de dados seriam nulas.

A Tabela 5.31 apresenta uma série de medidas de posição e dispersão dos dados, de ambas as séries em estudo, com o intuito de melhor descrevê-las. Na Figura 5.25, a distribuição das duas séries é apresentada a partir das distâncias interquartílicas.

Pode-se observar que os valores das duas séries são muito discrepantes, sobretudo, destaca-se o valor máximo verificado pela FURG. Contudo, a variabilidade dos dados é da mesma grandeza, com CVs muito próximos, o que indica uma distribuição uniforme dos dados ao longo do canal. Em relação à forma, enquanto os dados da FURG são leptocúrticos e assimétricos à direita, os da MRS são platicúrticos e apresentam uma pequena assimetria à esquerda. As assimetrias são evidenciadas pelas distâncias interquartílicas, que no caso da série da FURG, o quartil superior apresenta uma grande amplitude de variação. A característica leptocúrtica da série da FURG faz com que 50% dos dados observados estejam agrupados numa pequena faixa de variação (entre 16,88 e 20,17  $\text{mg.kg}^{-1}$ ). O limite superior do IC é pouco superior ao limite estabelecido pelo Conama para o Nível I. Enquanto nos dados colhidos pela FURG há uma preponderância dos valores menores (a classe modal esta compreendida entre 14,350 a 19,875  $\text{mg.kg}^{-1}$  de Ni), os valores obtidos pela MRS

concentram-se, sobretudo, nas classes superiores. Na Figura 5.25 explicita-se melhor a distribuição dos dados.

Tabela 5.31 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Ni).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	17,977	12,910
<i>Desvio Padrão</i>	6,472	4,895
<i>Coef. Variação</i>	0,360	0,379
<i>Amplitude</i>	44,200	21,410
<i>Mínimo</i>	3,300	0,790
<i>1º Quartil</i>	16,880	9,380
<i>Mediana</i>	19,100	13,200
<i>3º Quartil</i>	20,170	16,900
<i>Máximo</i>	47,500	22,200
<i>Assimetria</i>	0,895	-0,399
<i>Curtose</i>	6,572	-0,697

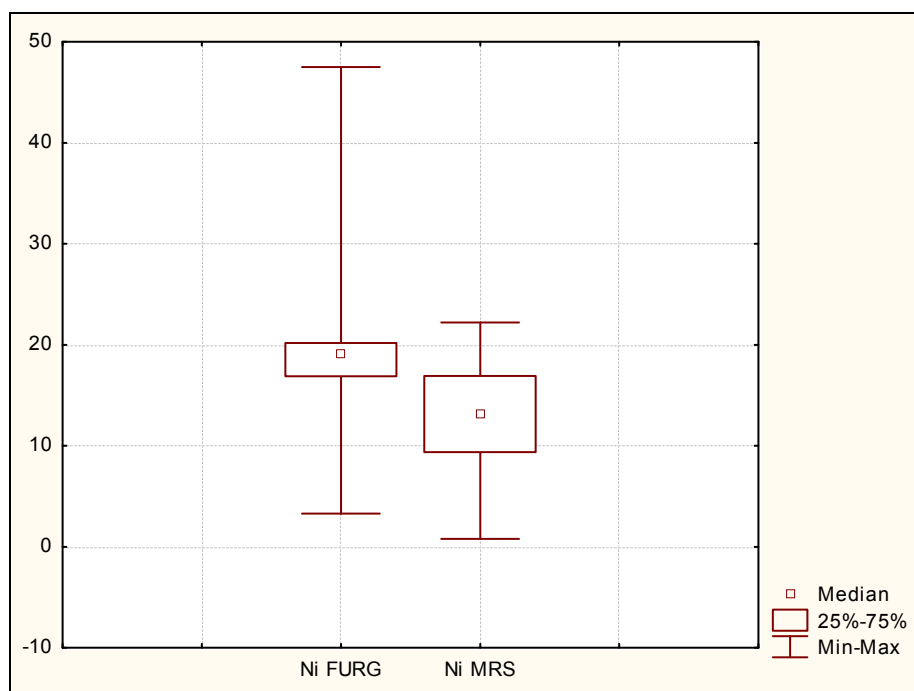


Figura 5.25 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Ni.

Os valores extremos, evidenciados pelo intervalo de confiança (0,99) das médias das observações, plotados na Figura 5.26, reafirmam a diferença entre as duas séries de dados. O limite inferior do IC para a média dos dados da FURG (15,91mg.kg<sup>-1</sup>) são maiores que o limite superior do IC da média dos dados da MRS (13,88 mg.kg<sup>-1</sup>). Pode-se verificar também, na Figura 5.26, que poucas observações extrapolaram o IC para a média dos dados da FURG. Dentre estes se destaca que, com exceção de um valor extremo, todas as observações realizadas pela FURG estiveram abaixo de 35 mg.kg<sup>-1</sup>. Contudo, salienta-se que este valor extremo superou o valor de 45 mg.kg<sup>-1</sup>, aproximando-se do limite estabelecido pelo Conama para o Nível II.

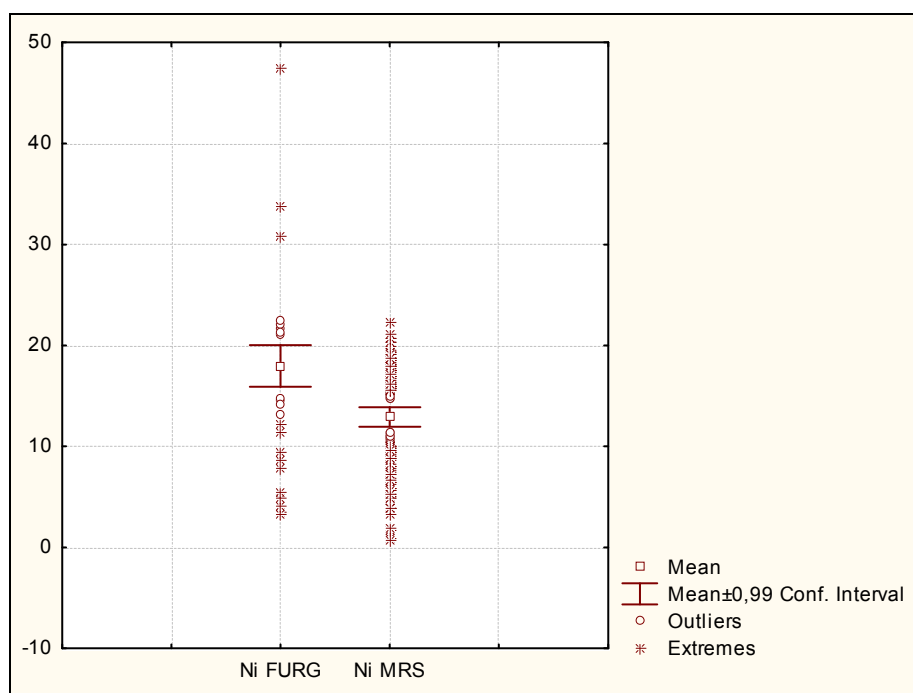


Figura 5.26 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Ni.

### 5.5.4 Ajuste das distribuições de probabilidades

Nenhuma das distribuições em estudo conseguiu modelar adequadamente os dados observados pela FURG.



Para os dados da MRS, a distribuição Beta foi a que melhor representou este conjunto de dados com um NS = 0,474 (Figura 5.27). A distribuição Normal, ainda que muito próxima à zona de rejeição, foi significativa, para os dados da MRS, com NS = 0,051 (Figura 5.28), contudo muito abaixo do nível de ajuste obtido pela distribuição Beta (Tabela 5.32). A partir dos parâmetros apresentados na Tabela 5.32, para a distribuição Beta ( $\alpha = 2,08656$  e  $\beta = 1,60115$ ) pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de Ni. A probabilidade, a partir dos dados da MRS, de que ocorram valores superiores ao estabelecido para o Ni, no Nível I, da Conama 344 ( $20,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), é  $P = 0,02988$ .

O ajuste dos dados da MRS à distribuição Normal foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (Figura 5.28). Posto que as observações de valores extremos superiores desta série foram inferiores aos observados na série da FURG, poder-se-ia utilizar esta distribuição com o intuito de obter estimativas dos valores extremos superiores de Ni. A partir dos parâmetros da distribuição Normal ( $\bar{X} = 12,905$  e  $s = 4,899 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni), obtidos a partir dos dados observados pela MRS (Tabela 5.33) tem-se que a probabilidade do limite do Nível I, ser atingido ou superado é  $P = 0,051336$ , relativamente próximo àquele calculado pela distribuição beta, o que reforça àquela estimativa como fidedigna.

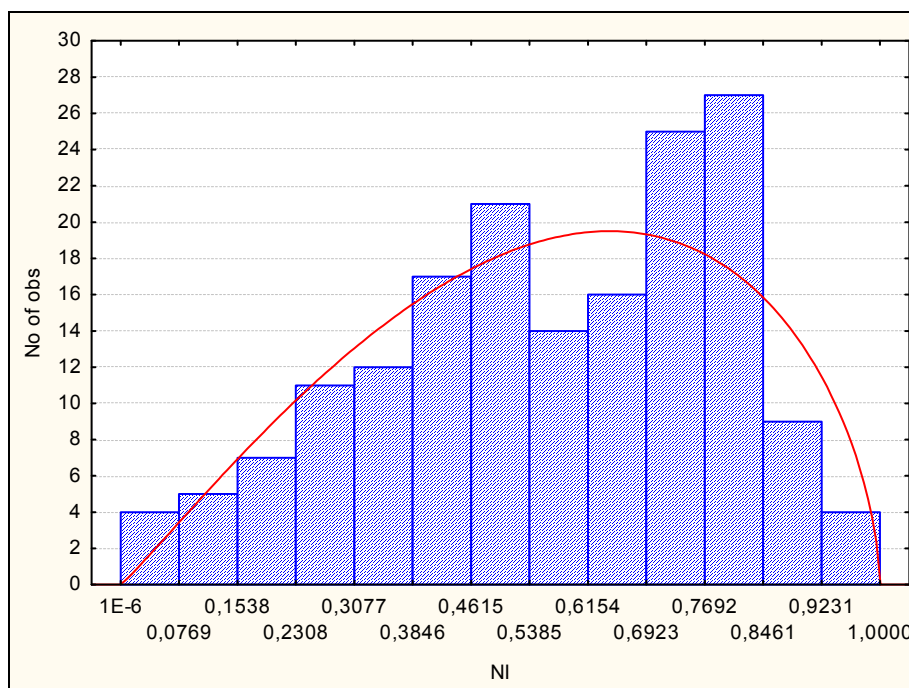


Figura 5.27 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

Tabela 5.32 – Parâmetros de ajuste dos dados de Ni às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	3,259	6,376	0,215	0,035	2,087	1,601	<b>0,064</b>	<b>0,474</b>
<i>Gama</i>	6,094	0,339	0,245	0,0005	4,740	0,367	0,124	0,010
<i>Weibull</i>	2,809	19,993	0,217	0,0031	2,927	14,422	0,112	0,027

Tabela 5.33 – Parâmetros de ajuste dos dados de Ni às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	18,434	9,116	0,272	$7 \times 10^{-5}$	13,423	7,895	0,131	0,005
<i>Normal</i>	17,977	6,472	0,217	0,003	12,905	4,899	<i>0,103</i>	<i>0,051</i>

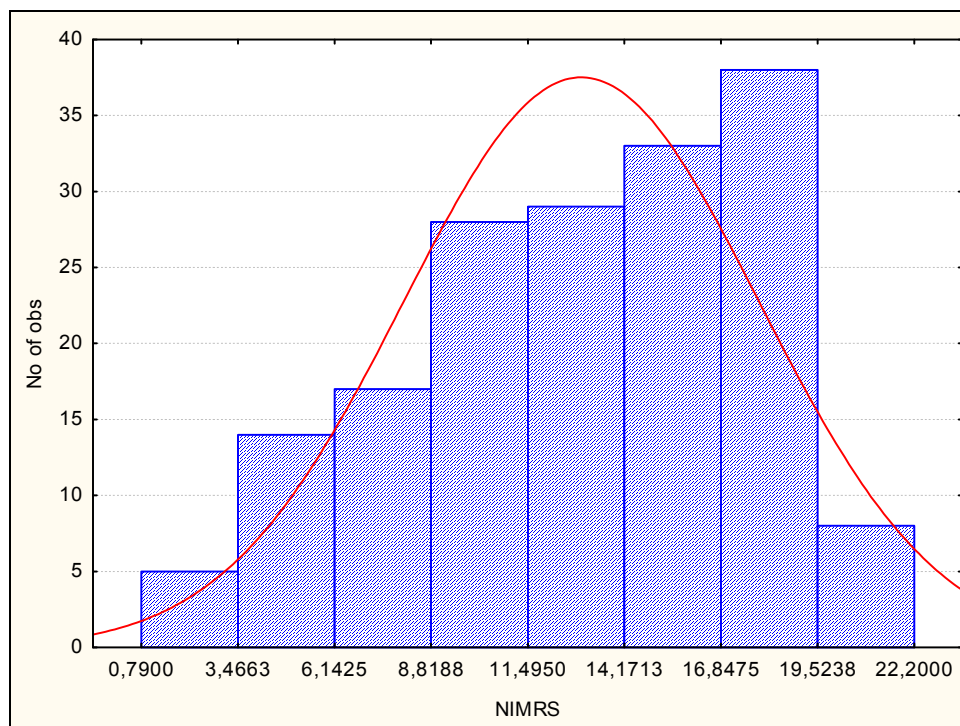


Figura 5.28 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de Ni da MRS.

Destarte, acredita-se que ainda que não se tenha obtido níveis elevados de ajuste, a distribuição Normal, a partir dos parâmetros obtidos dos dados da MRS (significativa ao nível  $\alpha=0,05$ ) é a que melhor conseguiu prever os valores extremos de Ni, observados, principalmente pela FURG. Contudo esta distribuição não conseguiu aproximar-se do valor extremo de  $47,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni, observado pela FURG. Os valores máximos estimados a partir destes parâmetros aproximam-se de  $40,00 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni ( $P = 0,999$ ).

Embora não se tenha obtido, para os dados da FURG, nenhuma distribuição com ajuste significativo ao nível de 5%, acredita-se que a distribuição Normal não tenha modelado adequadamente os dados da FURG, devido à forma leptocúrtica (uma classe modal que congrega 48% das observações) e pela ocorrência de um único valor extremo, que responde por apenas 1% dos dados observados (Figura 5.29). Ressalta-se ainda que o valor máximo verificado nesta série é de  $47,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni, muito superior àquele verificado pela MRS ( $22,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Mesmo assim esta distribuição, a partir dos parâmetros apresentados na Tabela 5.33, foi capaz de estimar mais precisamente a ocorrência de Ni nos sedimentos. A

probabilidade de o limiar estabelecido para o Nível I, da Resolução 344 ( $20,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni) ser superado é de  $P = 0,326$ .

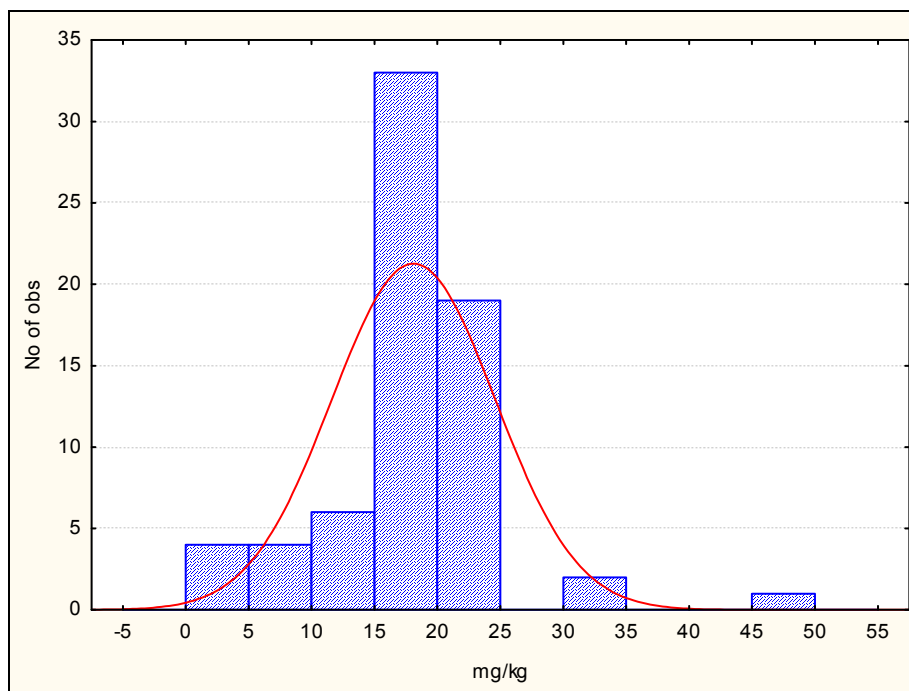


Figura 5.29 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de Ni da FURG.

## 5.6 CHUMBO

### 5.6.1 A série da FURG

A Figura 5.30 mostra o comportamento do Chumbo (Pb) nos 12 testemunhos realizados pela FURG. Destaca-se o fato de que todos os valores analisados estão abaixo do Nível I ( $46,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), para águas salino-salobras, estabelecido na Resolução Conama N.º 344/2004.

Em geral as amostras, nos diferentes níveis, têm um comportamento semelhante, com poucas discrepâncias. O coeficiente de correlação obtido para o comportamento conjunto dos níveis Topo e Meio foi significativo, a 5% de probabilidade, com um valor de  $r = 0,750$ , enquanto que os conjuntos Topo Fundo e Meio fundo, não atingiram índices significativos de correlação, com valores de  $r$  de 0,148 e 0,201, respectivamente.

A tendência dos dados, para os três níveis em tela, foi analisada por meio de uma regressão linear. Para o nível  $\alpha = 0,05$  nenhum dos níveis apresentou tendência significativa. Os valores de  $t$  para os respectivos níveis Topo, Meio e Fundo foram de 1,073; 0,760 e 0,668, respectivamente. Todas as linhas de tendência são decrescentes, no sentido estuário-oceano.

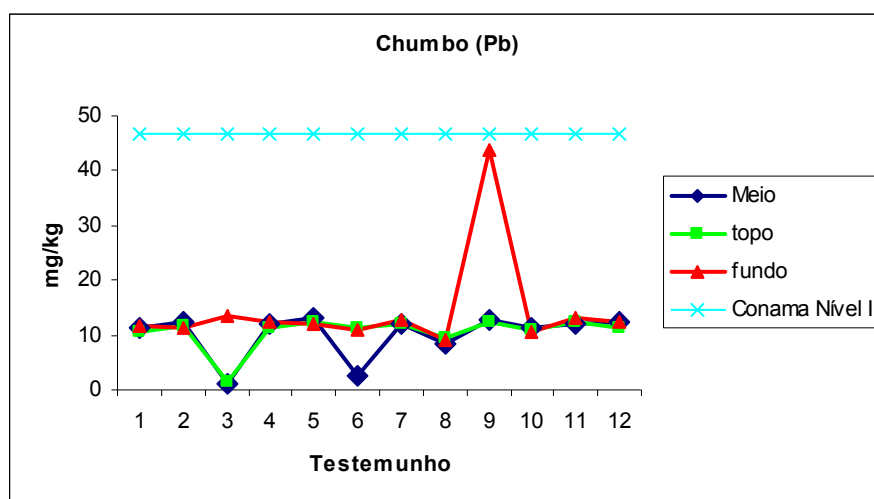


Figura 5.30 – Comportamento do Pb nos testemunhos amostrados pela FURG.

Resultaram não significativas as diferenças entre as médias dos três níveis estudados (Tabela 5.34) verificados por meio do teste  $t$  ao nível de 5% de significância (Tabela 5.35). A razão entre as variâncias, pelo teste F, ao nível de 5% de significância, para as três comparações em tela, resultou homogênea. Então, para o teste  $t$  ( $\alpha=0,05$ ), a diferença entre as médias dos níveis em comparação, não foi significativa. A hipótese formulada de que não existem diferenças entre as médias dos diferentes níveis do sedimento foi confirmada com elevados níveis de significância.

Tabela 5.34 – Estatísticas utilizadas na comparação do Pb, nos diferentes níveis do sedimento.

	Topo	Meio	Fundo
<i>Média</i>	10,607	10,141	14,443
<i>Variância</i>	9,171	16,568	86,057

Tabela 5.35 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<i>t</i>	<b>P (<i>t</i>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,318	0,754
<i>Topo – Fundo</i>	-1,362	0,187
<i>Meio – Fundo</i>	-1,471	0,155

### 5.6.2 A série da MRS

Da mesma forma que os valores apresentados pela FURG, os dados da MRS ficaram abaixo do valor limite, no Nível I da Resolução 344 (Conama, 2004). A Figura 5.31 mostra o comportamento destes valores para os três níveis em estudo.

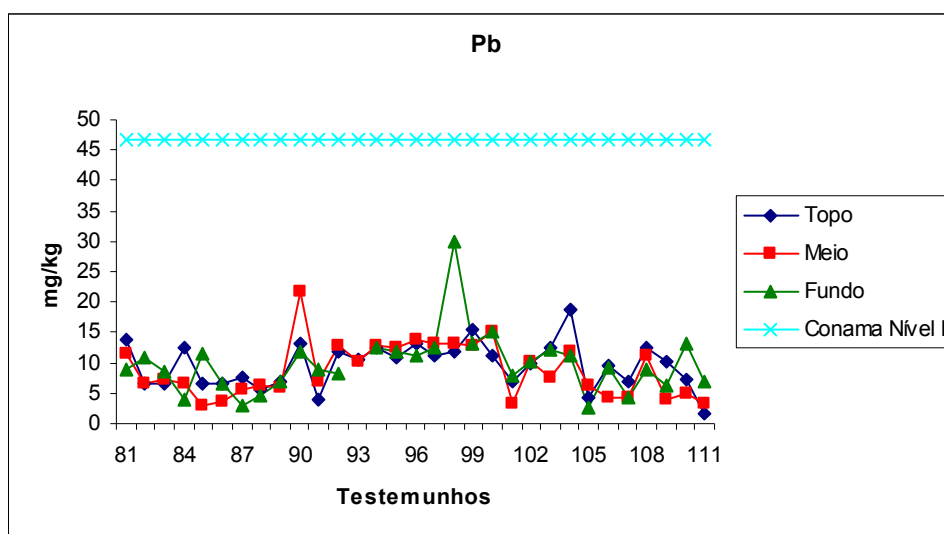


Figura 5.31 – Comportamento do Pb nos testemunhos amostrados pela MRS.

Os resultados dos testes de comparação da diferença entre as médias dos valores amostrais (Tabela 5.36), nos três níveis estudados (Topo, Meio e Fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , não foram significativos (Tabela 5.37).

Tabela 5.36 – Estatísticas utilizadas na comparação do Pb, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	9,606	8,774	9,744
<i>Variância</i>	14,033	20,335	25,008

Tabela 5.37 – Resultados do teste  $t$ , para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,790	0,432
<i>Topo – Fundo</i>	-1,122	0,904
<i>Meio – Fundo</i>	-0,796	0,429

Nas três comparações as variâncias resultaram homogêneas, pelo teste  $F$ , ao nível  $\alpha = 0,05$ . O teste  $t$  resultou não significativo para a comparação das médias de Pb, nos três níveis do sedimento, com altos níveis de significância. Desta forma, se aceita  $H_0$ , ou seja, considera-se que não existe diferença entre as médias de Pb, nos níveis estudados.

### 5.6.3 Comparação entre as duas séries de dados

A partir dos resultados das séries da FURG e da MRS, estas foram submetidas aos mesmos testes de comparação, sob a hipótese de nulidade  $H_0: DM=0$ . O teste da razão entre variâncias resultou não significativo, com  $F = 0,458$ , não significativo ao nível de 5% de probabilidade. Foi verificado pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , se existe diferenças entre as médias das duas séries de dados. O resultado do teste foi significativo, com  $t = 0,550$ , o que

conduziu à rejeição da hipótese  $H_0$ , de que não existem diferenças entre as médias das séries da FURG e da MRS.

Pode-se observar que as médias e medianas, das duas séries, são muito semelhantes (Tabela 5.38), o que indica uma forma similar de distribuição dos dados. As medidas de assimetria e curtose, relativamente próximas confirmam a semelhança entre as formas.

A Figura 5.32 explicita melhor a forma das distribuições dos dados das duas séries. Pode-se perceber que, ambas as distribuições possuem forte assimetria à direita, contudo na FURG isto é mais pronunciado, atingindo valores máximos próximos ao limiar do Nível I. Isto é evidenciado pela amplitude do quartil superior e pelas medidas de assimetria, muito próximas, o que revela um comportamento semelhante. Ou seja, 75% dos dados agrupam-se abaixo do terceiro quartil que para ambas as séries é aproximadamente  $12,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Pb.

Tabela 5.38 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Pb).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	9,018	9,430
<i>Desvio Padrão</i>	6,717	4,544
<i>Coef. Variação</i>	0,745	0,482
<i>Amplitude</i>	43,610	34,35
<i>Mínimo</i>	0,030	0,049
<i>1º Quartil</i>	3,200	6,395
<i>Mediana</i>	10,980	9,460
<i>3º Quartil</i>	12,380	12,350
<i>Máximo</i>	43,640	34,400
<i>Assimetria</i>	1,693	1,478
<i>Curtose</i>	9,040	6,465



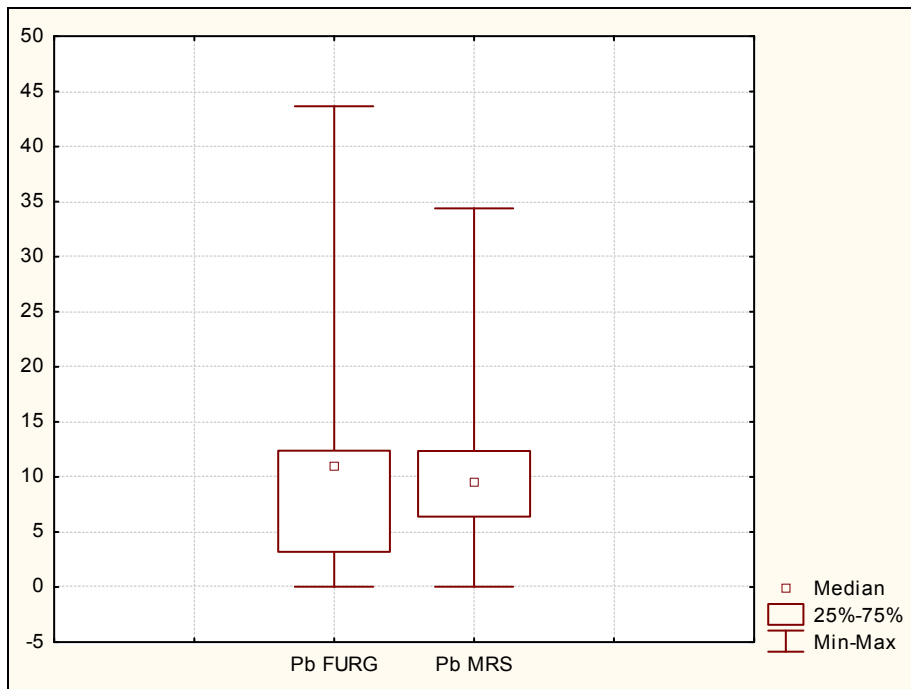


Figura 5.32 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de Pb.

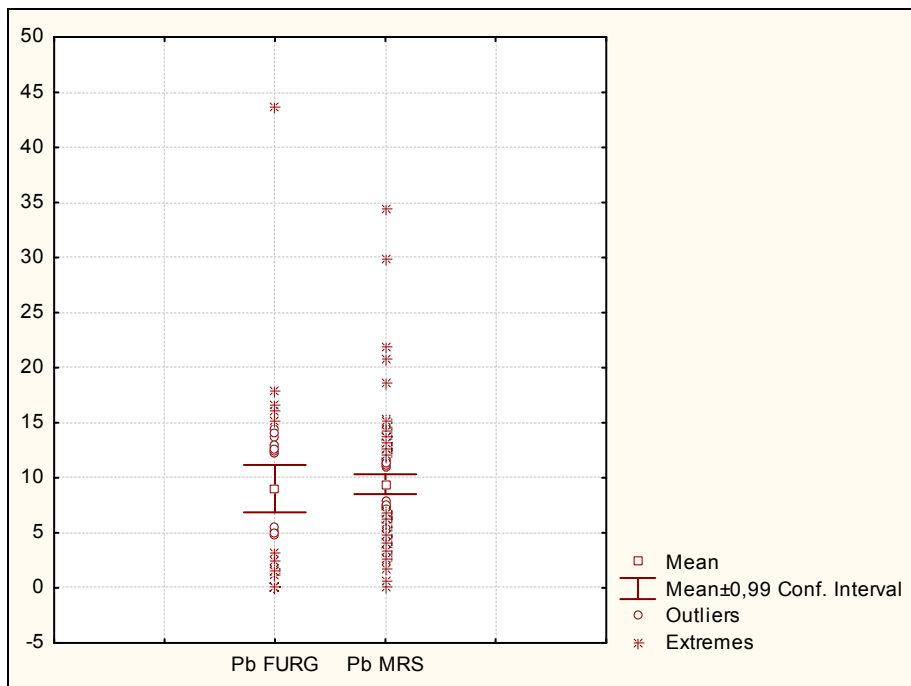


Figura 5.33 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Pb.

Por outro lado, ao considerarmos os valores extremos, fora do intervalo de confiança (0,99) da média dos dados (Figura 5.33), percebe-se que a forte assimetria da série da FURG é dada por uma única observação. O restante das realizações de Pb ficou abaixo de 20 mg.kg<sup>-1</sup>. Em

relação aos dados da MRS os valores extremos distribuem-se mais uniforme e frequentemente ao longo do quartil superior.

Os histogramas de ambas as séries, apresentados nas Figuras 5.34 e 5.35, explicitam melhor a distribuição dos dados. Em ambas as distribuições há uma preponderância dos valores centrais. Na série da FURG a classe modal, que congrega 46% das observações, está compreendida entre 10,93 e 16,38 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb. Na série da MRS, a classe modal é composta por 26% dos dados e, cerca de 70% das observações estão entre 5,33 e 13,26 mg.kg<sup>-1</sup> (limite superior da classe modal).

#### 5.6.4 Ajuste das distribuições de probabilidade

Os dados da FURG não obtiveram níveis de ajuste elevados (Tabelas 5.39 e 5.40). O melhor ajuste foi obtido pela distribuição Normal (NS=0,054), muito próximo da zona de rejeição do teste (Figura 5.34). Previsões a partir desta distribuição obtiveram valores muito abaixo do extremo superior dos dados observados. Entretanto, considerando que o limite superior dos dados da FURG é dado por apenas uma realização de Pb (43,64 mg.kg<sup>-1</sup>) e que esta compõe uma classe isolada do restante, por três intervalos de classe, acredita-se que poder-se-ia obter estimativas verossímeis a partir de seus parâmetros. Assim, p.e., existe 1% de probabilidade de ocorrerem valores iguais ou superiores a 23,44 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb.

Os dados da MRS foram modelados com elevado nível de significância (NS = 0,672) pela Distribuição Beta (Figura 5.35). As distribuições Normal (NS = 0,206) e a de Weibull (0,147), também obtiveram níveis significativos de ajuste, contudo muito abaixo daquele obtido pela distribuição Beta. Contudo, a distribuição Beta não conseguiu atingir os limites extremos superiores dos dados da MRS, p.e., a probabilidade acumulada de 0,99 é igual a 21,44 mg.kg<sup>-1</sup>, ou seja, existe apenas 1% de probabilidade de ocorrer um valor igual ou superior a este.

Tabela 5.39 – Parâmetros de ajuste dos dados de Pb às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	1,223	4,693	0,230	0,001	2,823	7,510	<b>0,055</b>	<b>0,672</b>
<i>Gama</i>	0,702	0,078	0,287	$1,7 \times 10^{-5}$	3,648	0,387	0,096	0,084
<i>Weibull</i>	0,884	8,681	0,274	$6,2 \times 10^{-5}$	2,119	10,588	0,087	0,147

Tabela 5.40 – Parâmetros de ajuste dos dados de Pb às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	35,991	337,768	0,295	$1,2 \times 10^{-5}$	10,135	7,436	0,140	0,002
<i>Normal</i>	9,018	6,717	<b>0,162</b>	<b>0,054</b>	9,430	4,544	0,081	0,206

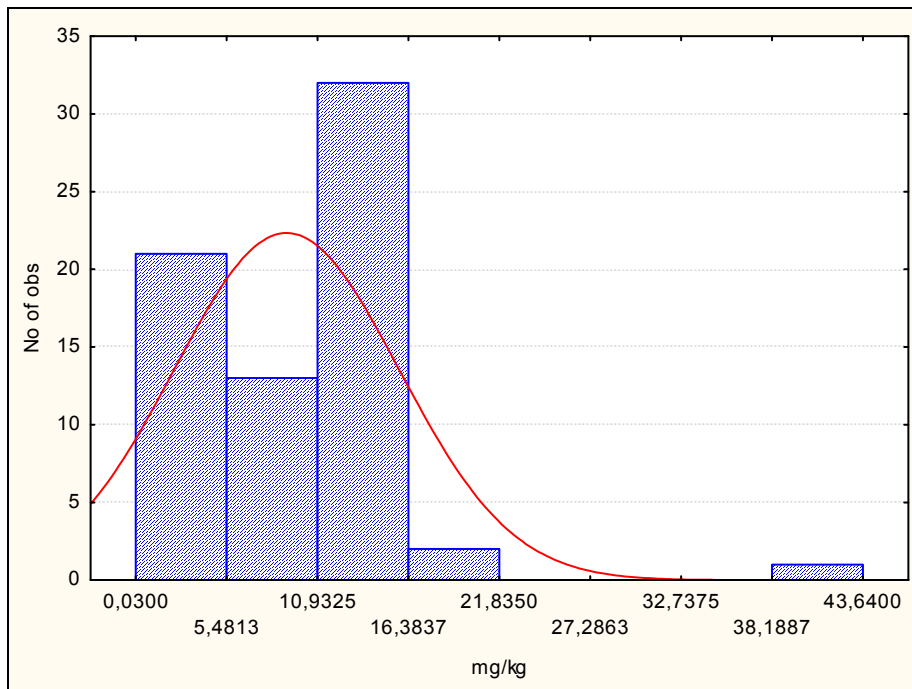


Figura 5.34 – Ajuste da distribuição Normal aos dados da FURG.

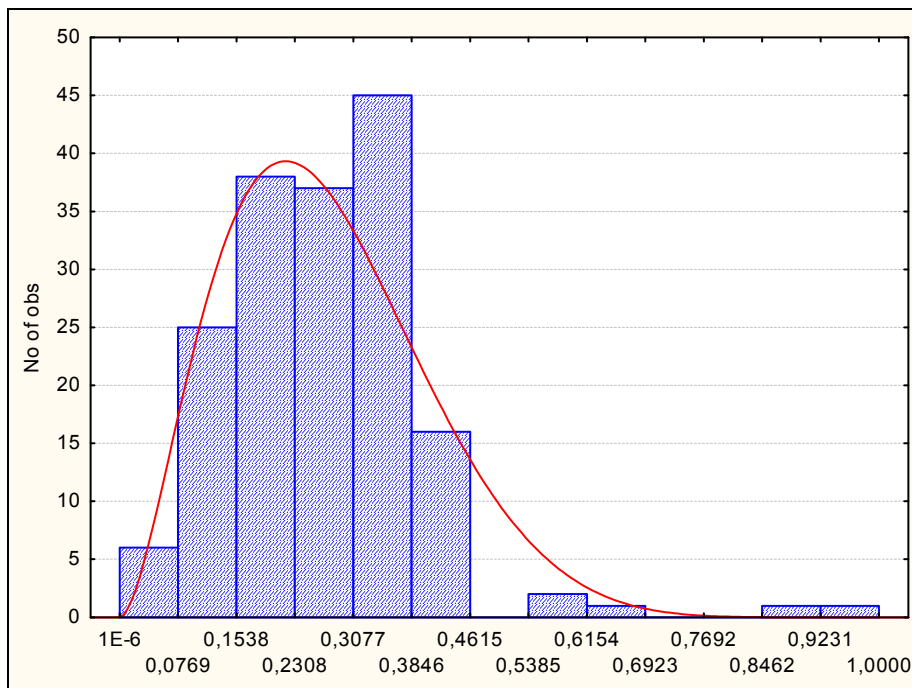


Figura 5.35 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

Destaca-se o fato de que não há diferenças significativas, pelo teste  $t$ , ao nível  $\alpha = 0,05$ , entre as médias das distribuições da FURG e da MRS. Entretanto, a amplitude e o valor máximo da série de dados da FURG são relativamente maiores que aqueles encontrados pela MRS.

Portanto, acredita-se que estimativas a partir da distribuição Beta, utilizando-se apenas os dados da MRS, não são suficientemente adequados para obter-se as probabilidades de ocorrência de Pb nos sedimentos do Porto de Rio Grande. Destarte, apenas como exemplo, admite-se um valor superior de  $47 \text{ mg.kg}^{-1}$  (valor não observado em nenhuma das duas séries). A partir dos parâmetros da distribuição Beta, apresentados na Tabela 5.39, para os dados da MRS, a probabilidade de ocorrência de valores de Pb superiores ao limite do Nível I do Conama é  $P = 0,6 \times 10^{-9}$ .

Considerando que se procura estimar os limites extremos superiores e que, não é significativa a diferença entre as duas séries, pode-se agrupá-las em uma única e, a partir desta estimar-se as probabilidades de ocorrência de Pb.

A Tabela 5.41 apresenta os ajustes para a distribuição dos dados das duas séries agrupadas, Nela pode-se verificar que nenhuma das distribuições testadas atingiu níveis de ajuste significativos.

Tabela 5.41 – Parâmetros de ajuste às diversas distribuições em estudo, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos Níveis de Significância (NS) para os dados agrupados das séries de observações da FURG e da MRS.

<b>Distribuições</b>	<b>FURG + MRS</b>			
	$\bar{X}$	<i>s</i>	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	15,912	37,455	0,236	0,000
<i>Normal</i>	4,978	5,278	0,104	0,009
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	2,016	6,108	0,110	0,004
<i>Gama</i>	1,452	0,159	0,172	$6,91 \times 10^{-7}$
<i>Weibull</i>	1,496	9,845	0,144	$5,73 \times 10^{-5}$

## 5.7 ZINCO

### 5.7.1 A série da FURG

Destaca-se o fato de que todos os valores de Zn estão muito abaixo do limite estabelecido para o Nível I ( $150,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). A Figura 5.37 mostra o comportamento nos doze testemunhos realizados pela FURG ao longo do canal do acesso ao Porto de Rio Grande. Em geral as amostras, nos diferentes níveis, têm um comportamento semelhante. Nos três níveis estudados, o comportamento é semelhante, há um decréscimo nos valores observados no sentido do oceano (do testemunho 12 ao 1).

O coeficiente de correlação ( $r$ ) para os níveis Topo e Meio foi significativo, ao nível de 5 % de probabilidade, com  $r = 0,757$ , enquanto que para os níveis Topo-Fundo e Meio-Fundo os índices não foram significativos, com valores de  $r$  de 0,135 e 0,285, respectivamente, indicando uma não similaridade no comportamento dos dados.

Ao analisar-se a tendência dos dados, para os três níveis em tela, por meio de uma regressão linear, constatou-se que esta é significativa ao nível  $\alpha = 0,05$  apenas para o nível superficial (Topo) Com valores respectivos, de  $t = 1,934$ ; 1,207 e 0,541, para os níveis Topo, Meio e Fundo.

A comparação das médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , não foi significativa. A média e a variância dos dados, para os três níveis em análise, estão apresentadas na Tabela 5.42.

O teste  $F$ , da razão entre as variâncias dos níveis em apreciação, resultou significativo, ao nível de 5% para as comparações Topo-Fundo e Meio-Fundo. Para a comparação entre os níveis Topo e Meio o teste  $F$  não foi significativo, aceitando-se a hipótese de que não existem diferenças entre as variâncias destes níveis.

A hipótese formulada ( $H_0$ ) de que não existem diferenças entre as médias dos três níveis em comento, verificada pelo teste  $t$ , com  $\alpha=0,05$ , foi aceita. Salienta-se os elevados níveis de significância atingidos pelo teste, superiores a 30% de probabilidade.

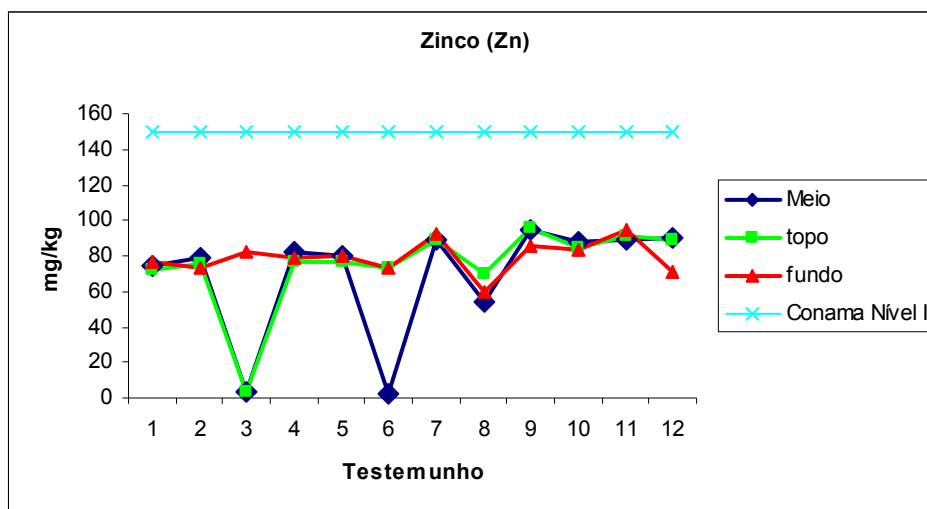


Figura 5.36 – Comportamento do Zn nos testemunhos amostrados pela FURG.

Tabela 5.42 – Estatísticas utilizadas na comparação do Zn, nos diferentes níveis do sedimento.

	Topo	Meio	Fundo
<i>Média</i>	74,659	68,800	79,177
<i>Variância</i>	579,831	1.061,101	90,830

Tabela 5.43 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<i>t</i>	P ( <i>t</i> )
<b>Comparações</b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,501	0,622
<i>Topo – Fundo</i>	-0,604	0,555
<i>Meio – Fundo</i>	-1,059	0,309

### 5.7.2 A série da MRS

A Figura 5.38 mostra o comportamento destes valores, que apresentam comportamento similar àqueles observados pela FURG, com a totalidade dos dados muito abaixo do limite estabelecido pelo Conama.

Os testes de comparação da diferença entre as médias dos valores amostrais, nos três níveis estudados (topo, meio e fundo), pelo teste *t*, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , não foram significativas. Na Tabela 5.44 são apresentados as estatísticas utilizadas nas comparações e os resultados dos testes na Tabela 5.45.

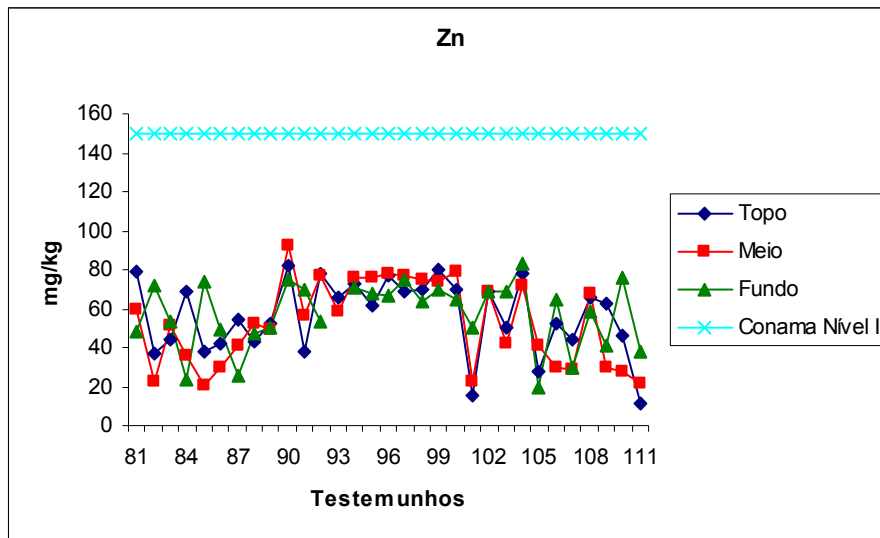


Figura 5.37 – Comportamento do Zn nos testemunhos amostrados pela MRS.

Tabela 5.44 – Estatísticas utilizadas na comparação do Zn, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	56,158	52,616	57,26
<i>Variância</i>	363,924	479,151	292,345

Tabela 5.45 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><i>t</i></b>	<b><i>P (t)</i></b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,679	0,500
<i>Topo – Fundo</i>	-0,237	0,813
<i>Meio – Fundo</i>	-0,921	0,360



O teste de homogeneidade de variâncias,  $F$ , para as comparações entre os níveis Topo, Meio e Fundo, resultou homogêneo, em todos os casos. O resultado do teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ , resultou não significativo, conduzindo à aceitação de  $H_0$  ( $DM = 0$ ) indicando que não existe diferença entre as médias de Zn, nos diferentes níveis do sedimento.

### 5.7.3 Comparações entre as duas séries (FURG – MRS)

A partir dos resultados individuais de cada série, FURG e MRS, procedeu-se a comparação destas entre si. O teste, da razão entre variâncias resultou não significativo. A hipótese de nulidade da diferença entre em mádias foi verificada por meio do teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). O valor de  $t = -6,15483$ , resultou significativo ( $NS = 2,367 \times 10^{-8}$ ). Portanto, rejeita-se a hipótese  $H_0$ , formulada ao nível  $\alpha = 0,05$  de significância, de que as diferenças entre as médias das duas séries de dados seriam nulas.

A seguir, na Tabela 5.46, apresenta-se uma série de medidas de posição, dispersão e forma dos dados com o intuito de melhor descrever as séries em estudo. O CV da série da FURG é relativamente menor que o da MRS, embora proceda de uma série com menor número de observações. A média e a mediana da série da FURG são muito superiores às da MRS. Na Figura 5.39 pode-se observar que cerca de 75% das observações realizadas pela FURG, encontram-se acima do valor do terceiro quartil da série da MRS. As duas séries contudo possuem a mesma tendência assimétrica à direita, embora a FURG tenha um forma leptocúrtica e a MRS, platicúrtica.

Em relação à forma, enquanto os dados da FURG apresentam uma forte assimetria à esquerda produzida por uma classe isolada de poucos valores mínimos. Da mesma forma, os dados da MRS apresentam assimetria à esquerda, conquanto não tão pronunciada. Isto é evidenciado pelas distâncias interquartílicas e pelas medidas de assimetria. Os histogramas das Figuras 5.41 e 5.42 explicitam melhor a distribuição dos dados. Em ambas as séries a classe modal inclui valores semelhantes e está localizada no quartil superior das observações. Nos dados observados pela FURG a classe modal está compreendida entre 76,7 e 89,1  $\text{mg.kg}^{-1}$  e nos dados da MRS entre os valores de 71,9 e 78,7  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Tabela 5.46 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (Zn).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	75,189	54,006
<i>Desvio Padrão</i>	19,915	19,858
<i>Coef. Variação</i>	0,265	0,368
<i>Amplitude</i>	99,200	89,950
<i>Mínimo</i>	2,300	4,250
<i>1º Quartil</i>	69,880	38,250
<i>Mediana</i>	79,140	54,780
<i>3º Quartil</i>	88,570	71,300
<i>Máximo</i>	101,500	92,200
<i>Assimetria</i>	-2,080	-0,358
<i>Curtose</i>	5,685	-0,867

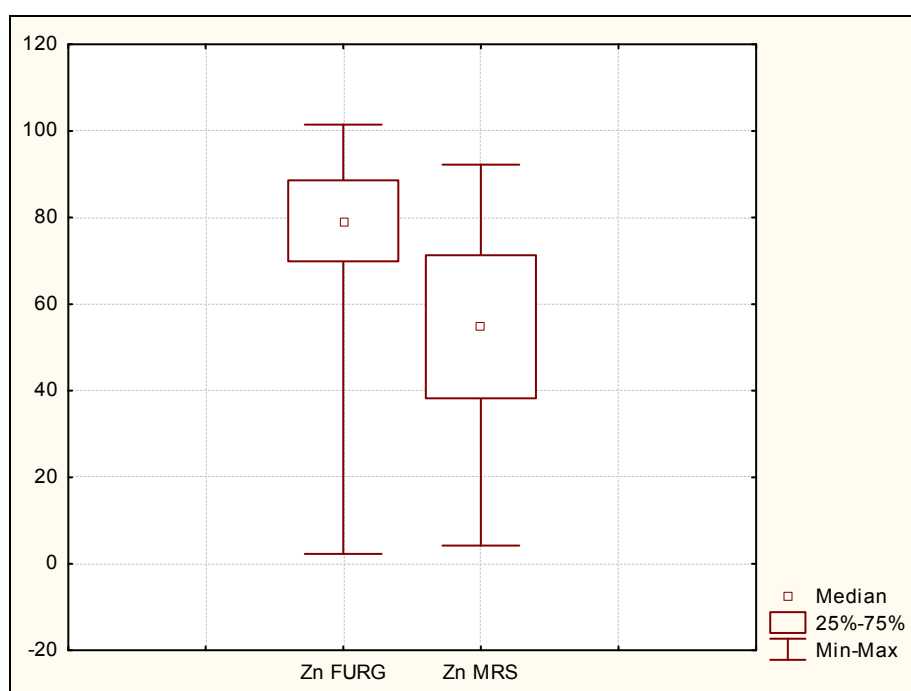


Figura 5.38 – Gráfico de Box &amp; Whisker com as distâncias interquartílicas de Zn.

Os valores extremos plotados na Figura 5.39, reafirma a diferença entre as duas séries de dados. O limite inferior do IC (0,99) para a média dos dados da FURG (68,84 mg.kg<sup>-1</sup>) são maiores que o limite superior do IC da média dos dados da MRS (57,95 mg.kg<sup>-1</sup>). Pode-se verificar também, nesta Figura que apenas duas observções muito próximas de zero, são

responsáveis pela forte assimetria dos dados da FURG. Dentre os extremos superiores destaca-se que, com exceção de um valor, todas as observações realizadas pela FURG estiveram abaixo de  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

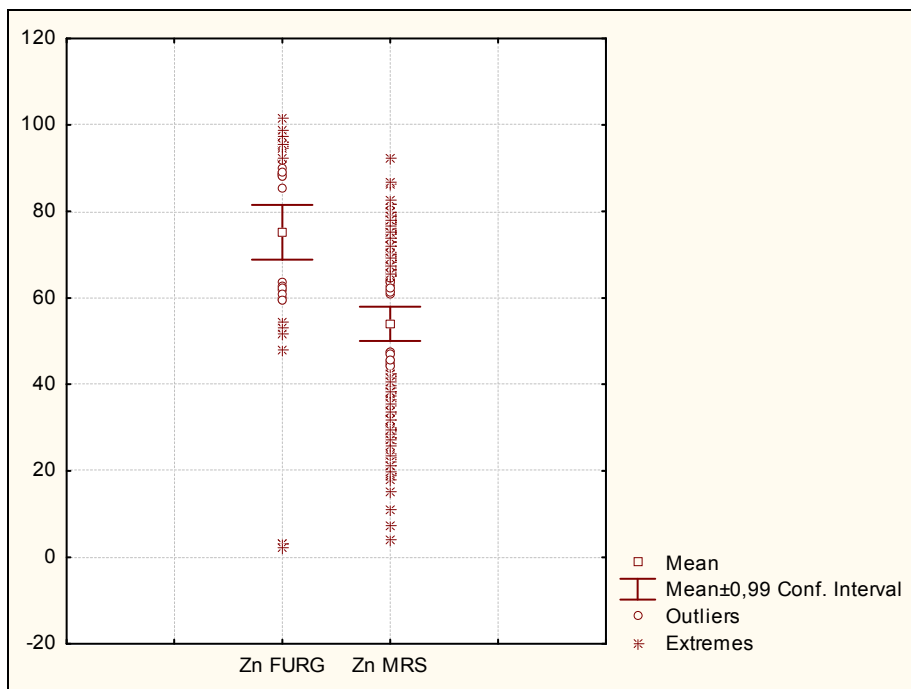


Figura 5.39 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de Zn.

### 5.7.4 Ajuste das distribuições de probabilidades

Para ambas as séries, o melhor ajuste aos dados observados foi obtido pela distribuição Beta Tabelas 5.47 e 5.48. O nível de significância para a série da FURG e da MRS foi, respectivamente  $NS = 0,166$  e  $NS = 0,387$ . A distribuição Normal, ainda que muito próxima à zona de rejeição ( $\alpha = 0,05$ ), dado a ocorrência de alguns valores extremos inferiores foi significativa ( $NS = 0,085$ ), para os dados da FURG. Em função disto esta distribuição superestimou os extremos superiores.

A partir dos parâmetros apresentados nas Tabelas 5.45 e 5.46, para a distribuição pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de Zn. Obviamente, a probabilidade, a partir dos

dados observados, em ambas as séries, de que ocorram valores iguais ou superiores ao estabelecido para o Zn, no Nível I, da Conama 344, é  $P = 0$ .

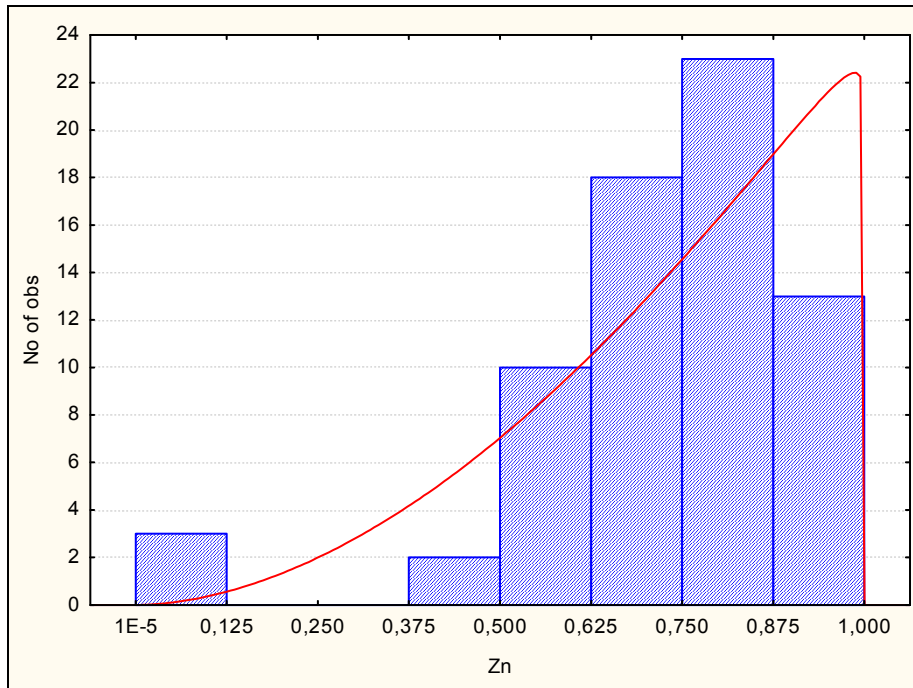


Figura 5.40 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da FURG.

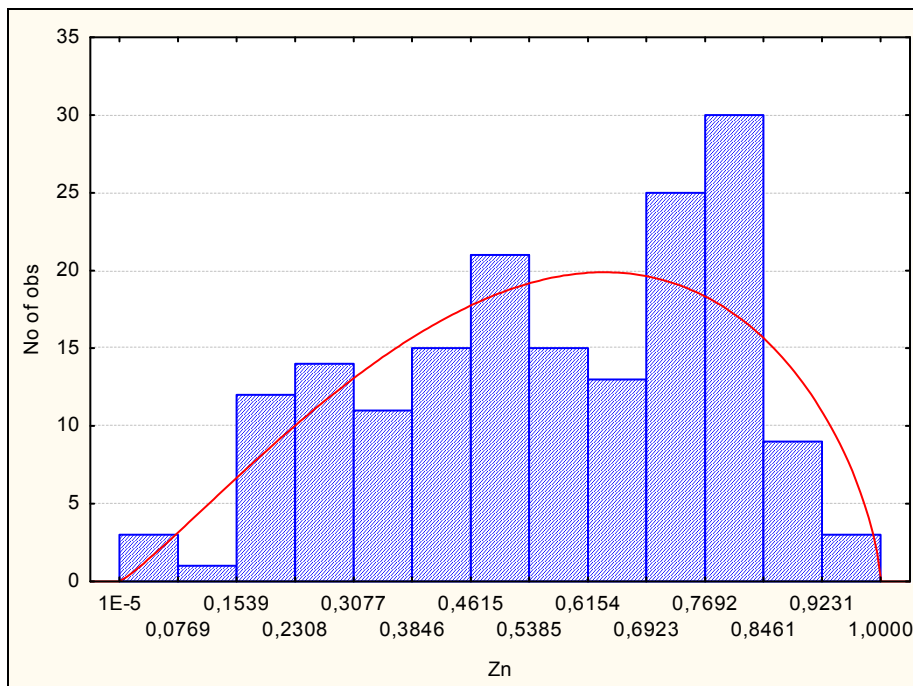


Figura 5.41 – Ajuste da distribuição Beta aos dados da MRS.

Tabela 5.47 – Parâmetros de ajuste dos dados de Zn às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	A	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	2,833	1,024	<b>0,134</b>	<b>0,166</b>	2,167	1,665	<b>0,069</b>	<b>0,387</b>
<i>Gama</i>	4,483	0,060	0,271	$7,7 \times 10^{-5}$	4,529	0,084	0,122	0,012
<i>Weibull</i>	4,210	80,683	0,177	0,026	2,903	59,918	0,114	0,024

Tabela 5.48 – Parâmetros de ajuste dos dados de Zn às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	s	K-S	NS	$\bar{X}$	s	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	85,848	68,661	0,329	$6,35 \times 10^{-7}$	56,351	35,014	0,152	$4,2 \times 10^{-4}$
<i>Normal</i>	75,261	19,957	<i>0,151</i>	<i>0,085</i>	53,667	20,416	0,106	0,042

## 5.8 NITROGÊNIO TOTAL

### 5.8.1 A série da FURG

Os dados de N-Total verificados pela FURG encontram-se muito abaixo do Valor Orientador (VO) estabelecido para águas salino-salobras ( $4.800 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) na Resolução Conama N.º 344/2004.

Em relação ao comportamento, os três níveis apresentam coeficientes de correlação não significativos, com valores de  $r = 0,357$ ;  $0,216$  e  $-0,203$ , para as combinações Topo-Meio, Topo-Fundo e Meio-Fundo, respectivamente.

Pode-se perceber, na Figura 5.43 que, em geral, há uma tendência decrescente na magnitude dos valores no sentido do oceano (testemunhos 12-01). Ao analisar, por meio de uma regressão linear, a tendência dos dados, para os três níveis em tela, percebe-se que esta é não significativa ao nível  $\alpha = 0,05$ . Os valores obtidos para a estatística  $t$  para os níveis Topo, Meio e Fundo foram, respectivamente  $0,347$ ;  $1,183$  e  $0,730$ . A magnitude dos valores observados, em geral decresce no sentido do oceano.

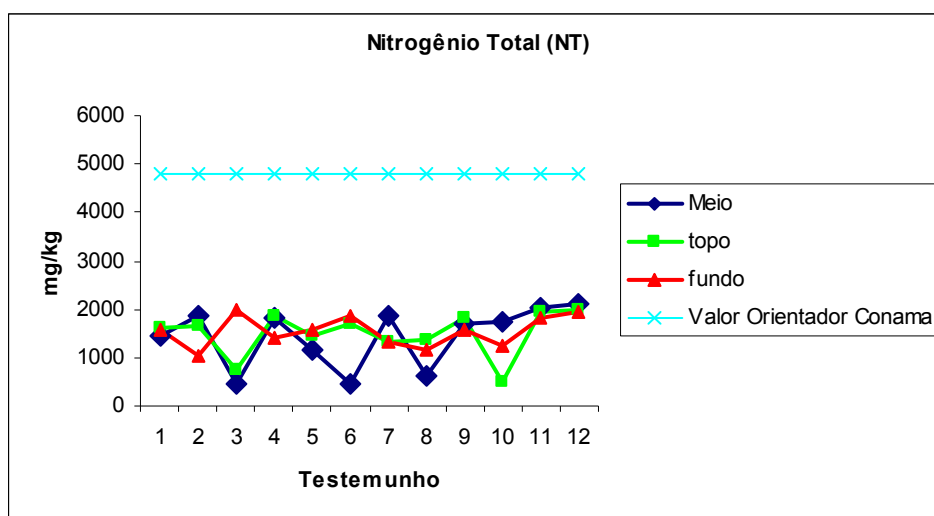


Figura 5.42 – Comportamento do N-Total nos testemunhos amostrados pela FURG.

Os resultados dos testes de comparação das médias, entre os três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , são mostrados na Tabela 5.50. Os valores da média e da variância, obtidos para os testemunhos estudados nos três níveis são apresentados na Tabela 5.49.

Tabela 5.49 – Estatísticas utilizadas na comparação do N-Total, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	1.498,00	1.434,42	1.546,08
<i>Variância</i>	216.165	379.920	101.310

Tabela 5.50 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,285	0,778
<i>Topo – Fundo</i>	-0,296	0,770
<i>Meio – Fundo</i>	-0,558	0,585

As variâncias dos dados, nas comparações Topo-Meio e Topo-Fundo, resultaram não significativas (homogêneas), ao nível de 5% de significância, enquanto que para a comparação entre os níveis Meio e Fundo resultou heterogênea. O teste  $t$ , para a diferença entre as médias, ao nível  $\alpha=0,05$ , sob a hipótese  $H_0$ , de que não existem diferenças entre as médias dos níveis em análise (DM=0), resultou não significativo. Com este resultado aceita-se a hipótese  $H_0$ .

### 5.8.2 A série da MRS

Ao contrário do verificado pela FURG, os valores N-Total da MRS ficaram muito acima do VO estabelecido pelo Conama (4.800 mg.kg<sup>-1</sup>), conforme pode ser visualizados na Figura 5.44.

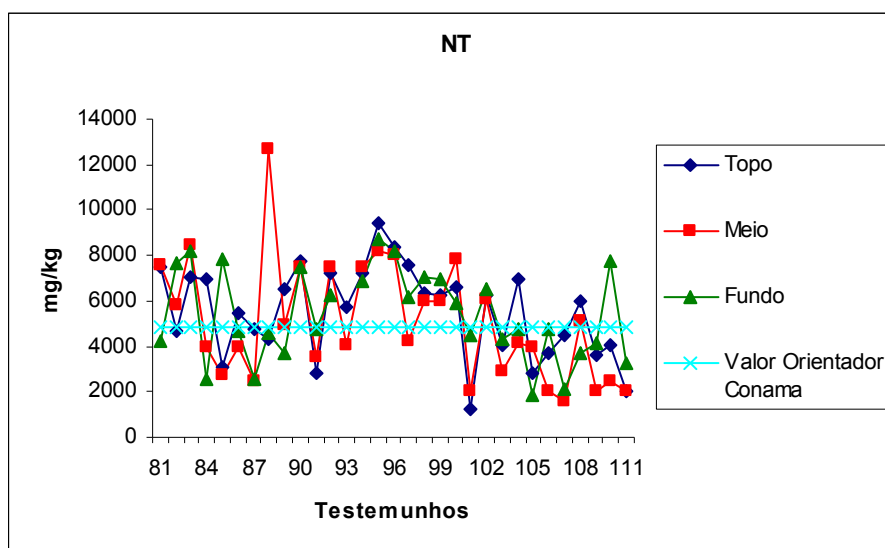


Figura 5.43 – Comportamento do N-Total nos testemunhos amostrados pela MRS.

A Tabela 5.51 apresenta os valores médios e a variância dos dados, para os três níveis em análise e a Tabela 5.52 mostra os resultados dos testes da razão de variâncias (teste F) e da diferença entre as médias (teste *t*).

Tabela 5.51 – Estatísticas utilizadas na comparação do N-Total, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	5.508,48	5.078,26	5.397,53
<i>Variância</i>	3,98x10 <sup>6</sup>	6,84x10 <sup>6</sup>	3,93x10 <sup>6</sup>



Tabela 5.52 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	$t$	P ( $t$ )
<b>Comparações</b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,782	0,469
<i>Topo – Fundo</i>	0,218	0,828
<i>Meio – Fundo</i>	-0,536	0,594

O resultado do teste de homogeneidade de variâncias, para as três comparações em tela não foram significativos. O teste  $t$ , para as comparações acima, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , não foi significativo. Portanto, aceita-se a hipótese de nulidade de que não existem diferenças de N-Total, em média, entre os níveis estudados.

### 5.8.3 A comparação das duas séries (FURG-MRS)

Em ambas as séries, não se encontrou em média, diferenças significativas entre os níveis de profundidade do sedimento analisado. A partir destes resultados procedeu-se a comparação das duas séries (MRS - FURG). O teste da razão entre variâncias resultou significativo com  $F = 0,051$ . A hipótese de nulidade ( $H_0: DM = 0$ ) foi verificada por meio do teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). O valor de  $t = 9,263$ , resultou significativo com um NS =  $2,591 \times 10^{-8}$ . Portanto, rejeita-se a hipótese formulada, ao nível de 5%, de que as diferenças entre as médias das duas séries de dados seriam nulas.

As estatísticas apresentadas na Tabela 5.53 reafirmam o resultado do teste de comparação das médias das duas séries. Pode-se observar que as medidas das duas séries são completamente distintas. Os valores máximos observados pela FURG encontram-se compreendidos no intervalo do primeiro quartil dos dados observados pela MRS (Figura 5.45).

Tabela 5.53 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (N-Total).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	2.027,03	5.645,20
<i>Desvio Padrão</i>	721,26	3.208,52
<i>Coef. Variação</i>	0,356	0,575
<i>Amplitude</i>	2.869,5	23.305,6
<i>Mínimo</i>	448,0	575,0
<i>1º Quartil</i>	1.585,0	3.587,0
<i>Mediana</i>	1.958,0	5.271,0
<i>3º Quartil</i>	2.618,4	7.180,0
<i>Máximo</i>	3.317,5	22.721,0
<i>Assimetria</i>	-0,198	1,778
<i>Curtose</i>	-0,462	6,253

Em relação à forma, a série da FURG apresenta uma leve assimetria à esquerda enquanto a da MRS a assimetria é à direita e bem mais pronunciada. Os dados da FURG distribuem-se mais uniformemente, apresentando uma forma platicúrtica, enquanto os da MRS caracterizam-se como leptocúrticos. A assimetria dos dados da MRS é mais acentuada, em função da ocorrência de alguns valores extremos superiores, como se pode verificar na Figura 5.46. Os valores médio e mediano da série da MRS, são superiores ao VO estabelecido pelo Conama para o N-Total (4.800 mg.kg<sup>-1</sup>), portanto mais de 50% dos dados observados estão acima do limite estabelecido como seguro para águas salino-salobras. Da mesma forma, a classe modal, localizada entre os limites de 5.828 e 7.576 mg.kg<sup>-1</sup>, congrega 26% dos dados observados.

Os valores extremos plotados na Figuras 5.46, reafirmam as enormes diferenças entre as duas séries de dados. O limite superior do intervalo de confiança da média da série da FURG (2.257,13 mg.kg<sup>-1</sup> de N-Total) é muito menor que o limite inferior do IC dos dados da MRS (4.279,66 mg.kg<sup>-1</sup> de N-Total). Nota-se na série de dados da MRS que são poucos os valores extremos que superaram 10.000 mg.kg<sup>-1</sup> de N-Total.

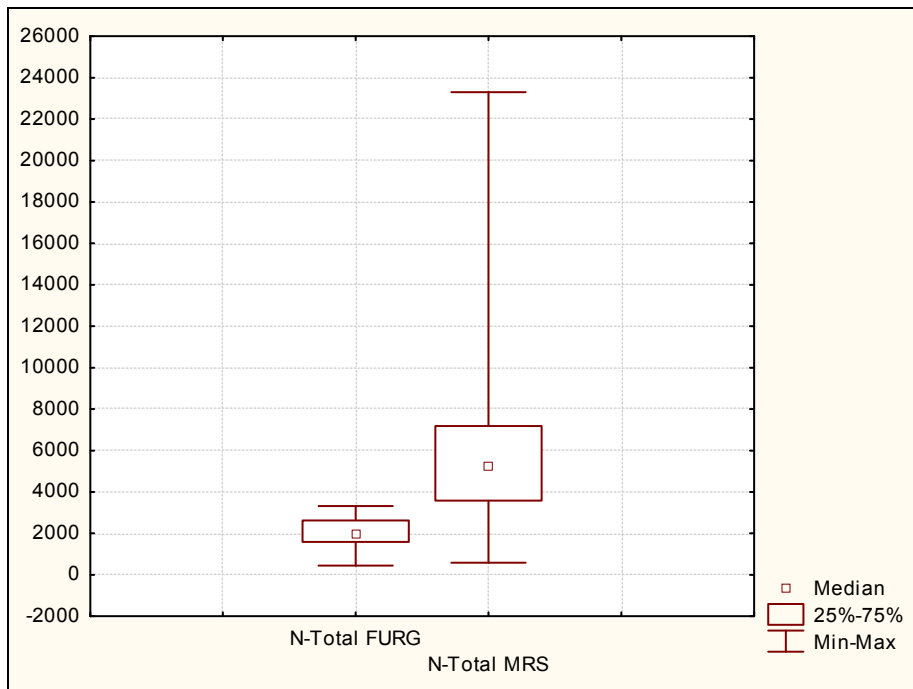


Figura 5.44 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de N-Total.

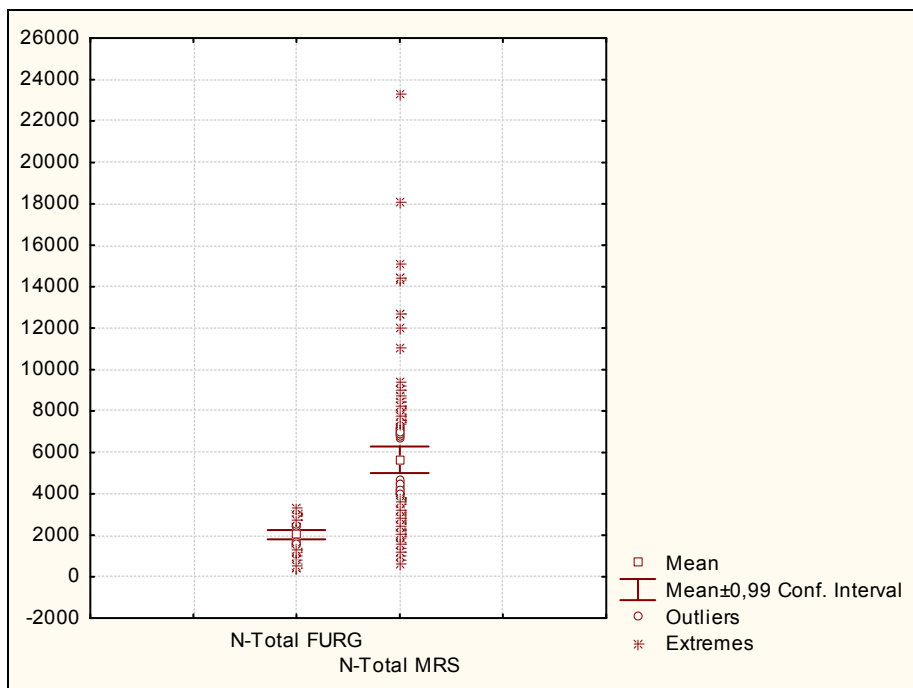


Figura 5.45 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de N-Total.

#### 5.8.4 Ajuste das distribuições de probabilidades

Os ajustes dos dados às diferentes distribuições de probabilidades são apresentados nas Tabelas 5.54 e 5.55. O melhor ajuste, para os dados da FURG, foi obtido pela distribuição Normal (NS=0,674). Entretanto, todas as outras distribuições obtiveram elevados níveis de ajuste, destacando-se as distribuições Weibull (NS=0,670) e Gama (NS=0,452). Para os dados da MRS a distribuição Gama foi a que melhor ajustou-se às observações (NS=0,276) seguida pela distribuição Log-normal com NS=0,247. O ajuste da distribuição Normal, aos dados da FURG e da Distribuição Gama aos dados da MRS podem ser visualizados na Figura 5.47 e na Figura 5.48, respectivamente.

Pode-se verificar a que a distribuição Normal (Figura 5.47), para os dados observados pela FURG, embora tenha conseguido um elevado nível de aderência aos dados observados, não conseguiu ajustar-se aos dados superiores. Da mesma forma, outras distribuições (Weibull e Gama) apresentaram comportamentos semelhantes. Entretanto, devido ao fato da série da FURG apresentar valores muito inferiores aos da MRS poder-se-ia utilizar esta série para estimar as probabilidades de ocorrência de N-Total nos sedimentos em análise.

A distribuição que melhor se ajustou aos dados da MRS foi a Gama. Contudo, não conseguiu se ajustar aos limites extremos dos dados observados, como se pode verificar na Figura 5.48. Por outro lado, a distribuição Log-normal que, depois da distribuição Gama foi a que melhor ajustou-se aos dados (NS=0,247) conseguiu atingir estes valores (Figura 5.49).

No que concerne ao VO do Conama para o N-Total (4.800), calculado a partir dos parâmetros da distribuição Gama, ajustada aos dados da MRS, verifica-se que a probabilidade deste valor ser superado é  $P = 0,509$ .

Tabela 5.54 – Parâmetros de ajuste dos dados de N-Total às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	B	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	2,133	1,480	0,121	0,265	2,047	6,444	0,106	0,042
<i>Gama</i>	6,151	0,003	0,103	0,452	3,366	0,0006	<b>0,076</b>	<b>0,276</b>
<i>Weibull</i>	3,158	2.263,12	0,081	0,670	1,872	6.376,34	0,095	0,089

Tabela 5.55 – Parâmetros de ajuste dos dados de N-Total às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	S	K-S	NS	$\bar{X}$	s	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	2.067,63	990,547	0,132	0,178	5.741,18	3.686,94	0,078	0,247
<i>Normal</i>	2.027,03	721,261	<b>0,087</b>	<b>0,674</b>	5.645,23	3.208,55	0,106	0,042

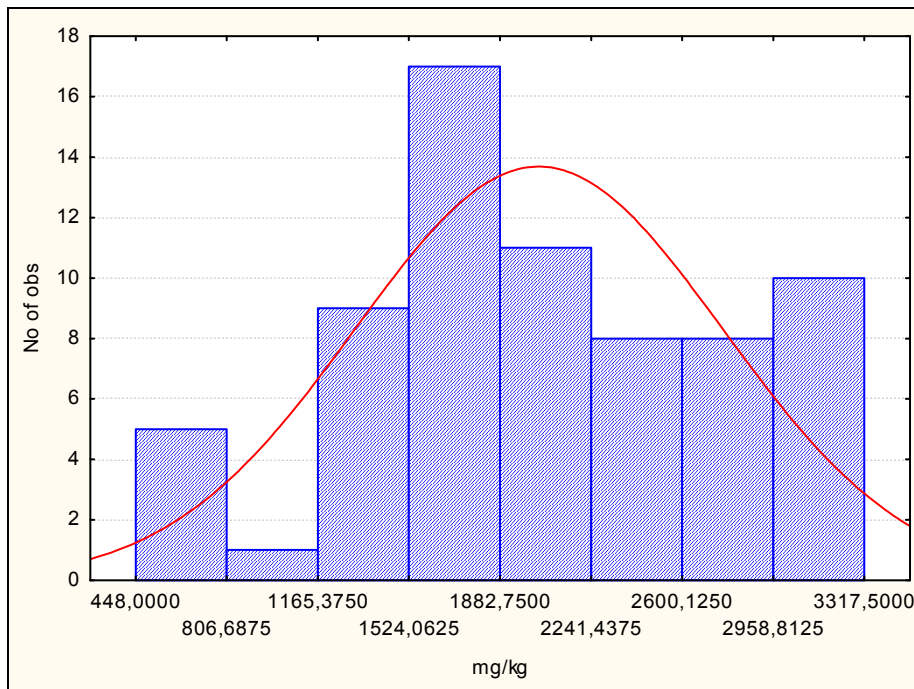


Figura 5.46 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de N-Total da FURG.

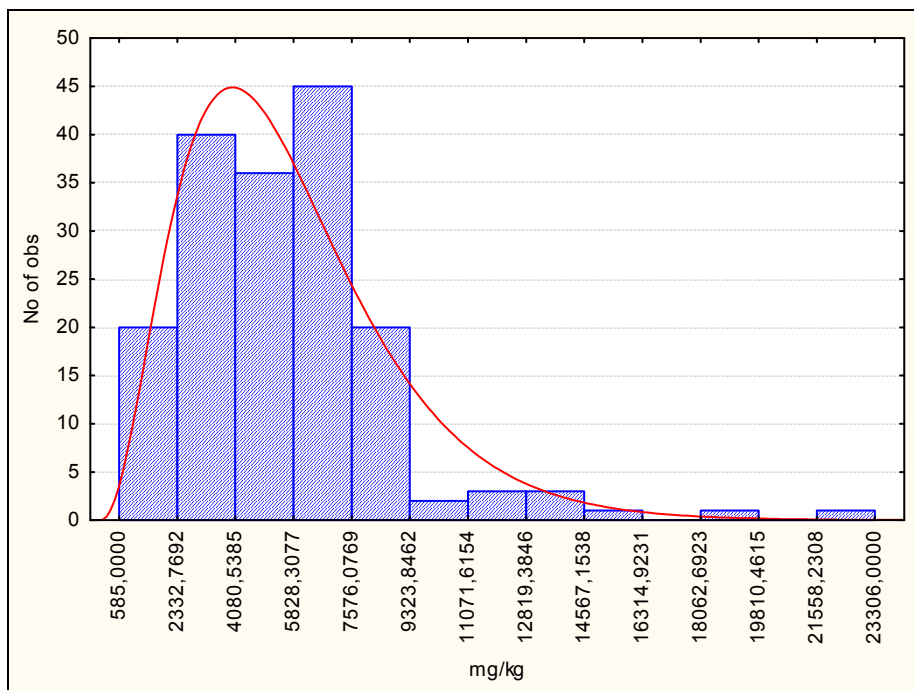


Figura 5.47 – Ajuste da distribuição Gama aos dados de N-Total da MRS.

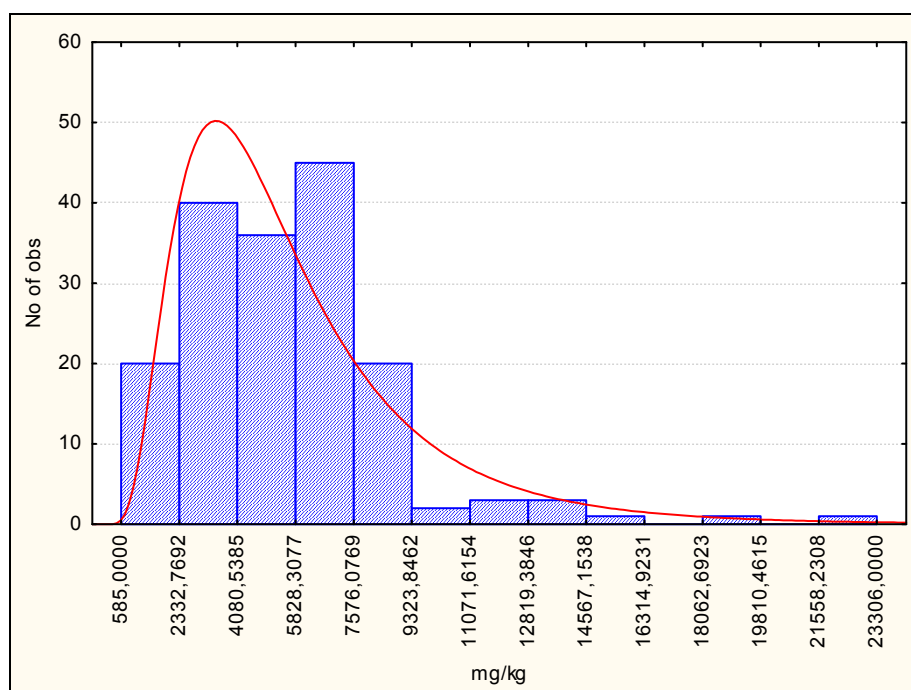


Figura 5.48 – Ajuste da distribuição Log-Normal aos dados de N-Total da MRS.

## 5.9 FÓSFORO TOTAL

### 5.9.1 A série de dados da FURG

Ao contrário do verificado para o N-Total, todas as observações de P-Total encontram-se muito acima do Valor Orientador (VO) estabelecido pelo Conama (2004) para águas salino-salobras ( $2.000 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), como pode ser verificado na Figura 5.50.

Em relação ao comportamento, os níveis Topo e Fundo apresentam uma correlação  $r = 0,831$ , significativa ao nível de 5% de probabilidade, enquanto que as outras combinações Topo-Meio e Meio-Fundo, apresentaram valores de  $r$  muito baixos, respectivamente 0,065 e 0,081.

Em geral, o comportamento dos dados é semelhante, há um decréscimo na magnitude dos valores no sentido estuário-oceano. Ao analisar-se a tendência dos dados, para os três níveis em tela, por meio de uma regressão linear, constatou-se que esta é não significativa ao nível  $\alpha = 0,05$ . Os níveis Topo, Meio e Fundo obtiveram valores de  $t = 1,238$ ;  $0,979$  e  $0,136$ , respectivamente.

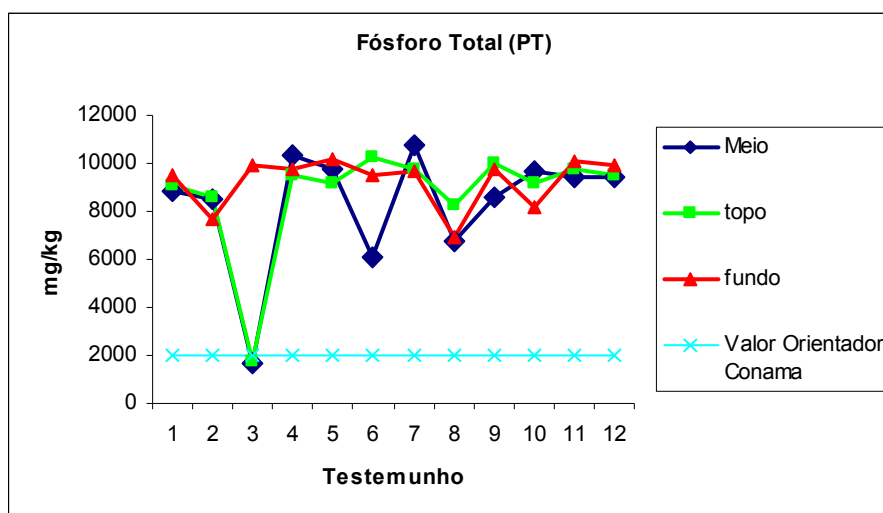


Figura 5.49 – Comportamento do P-Total nos testemunhos amostrados pela FURG.

Os resultados dos testes de comparação das médias dos dados observados (Tabela 5.56), nos três níveis estudados (topo, meio e fundo) pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , podem ser verificados na Tabela 5.57.

Tabela 5.56 – Estatísticas utilizadas na comparação do P-Total, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	8.735,08	8.322,00	9.241,50
<i>Variância</i>	$5,12 \times 10^6$	$6,2 \times 10^6$	$1,11 \times 10^6$



Tabela 5.57 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	$t$	P ( $t$ )
<b>Comparações</b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,425	0,675
<i>Topo – Fundo</i>	-0,703	0,492
<i>Meio – Fundo</i>	-1,178	0,257

O teste  $F$  resultou não significativo, ao nível de 5%, para a comparação dos níveis Topo e Meio, indicando a homogeneidade das variâncias destes níveis. Para as outras comparações o teste  $F$ , resultou significativo. Destarte, o teste  $t$  ( $\alpha=0,05$ ) obteve valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade. Estes resultados conduziram à aceitação da hipótese de nulidade, de que não existem diferenças significativas entre as médias das observações nos três níveis.

### 5.9.2 A série de dados da MRS

A Figura 5.51 mostra o comportamento do P-Total, para os dados da série da MRS, nos três níveis. Ao contrário do anteriormente verificado para o N-Total, que ultrapassou em mais de 50% dos dados do VO do Conama, todos os valores de P-Total observados ficaram muito abaixo do VO estabelecido pelo Conama (2.000 mg.kg<sup>-1</sup>).

A Tabela 5.58 apresenta as medidas utilizadas nas comparações de P-Total, entre os diferentes níveis do sedimento analisado. Os resultados dos testes aplicados são mostrados na Tabela 5.59.

O resultado do teste  $F$ , não significativo ao nível de 5%, indicou homogeneidade de variâncias, para as três comparações apresentadas. O teste  $t$ , ao mesmo nível de significância, resultou em valores de  $t$ , não significativos. Portanto, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , aceita-se a hipótese de que não existe diferença, em média, de P-Total, entre os níveis do sedimento em destaque.

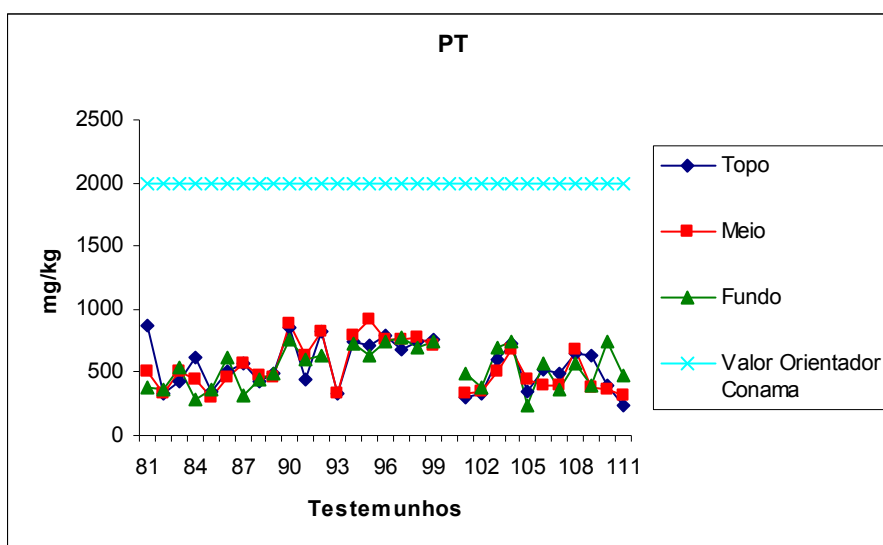


Figura 5.50 – Comportamento do As nos testemunhos amostrados pela MRS.

Tabela 5.58 – Estatísticas utilizadas na comparação do P-Total, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	557,4	543,03	542,45
<i>Variância</i>	34.710,2	36.179,4	27.309,8

Tabela 5.59 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><i>t</i></b>	<b><i>P (t)</i></b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,425	0,675
<i>Topo – Fundo</i>	-0,703	0,490
<i>Meio – Fundo</i>	-1,178	0,252

### 5.9.3 Comparação entre as duas séries de dados (FURG-MRS)

A partir dos resultados individuais de cada série procedeu-se a comparação destas entre si (MRS - FURG). O teste *F*, da razão entre variâncias resultou significativo. A hipótese de

nulidade ( $H_0: DM = 0$ ) foi verificada por meio do teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). O valor de  $t = -17,220$ , resultou significativo ( $NS = 0$ ). Portanto rejeita-se a hipótese formulada, ao nível  $\alpha = 0,05$ , de que as diferenças entre as médias das duas séries de dados seriam nulas.

As diferenças entre as duas séries de dados podem ser avaliadas na Tabela 5.60, onde se verifica que todas as observações da série da MRS estão compreendidas no intervalo do primeiro quartil da série da FURG, correspondendo a menos de um terço do limiar deste intervalo. Em geral os valores observados pela MRS correspondem a cerca de 10% ou menores, que os verificados na série da FURG (Figura 5.52).

Tabela 5.60 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (P-Total).

<i><b>Estatísticas</b></i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	169
<i>Média</i>	6.018,27	553,31
<i>Desvio Padrão</i>	3.262,88	177,86
<i>Coef. Variação</i>	0,542	0,321
<i>Amplitude</i>	9.060,0	911,0
<i>Mínimo</i>	1.654,0	84,0
<i>1º Quartil</i>	3.017,9	411,0
<i>Mediana</i>	4.224,0	553,0
<i>3º Quartil</i>	9.468,0	696,0
<i>Máximo</i>	10.714,0	995,0
<i>Assimetria</i>	0,087	0,059
<i>Curtose</i>	-1,824	0,604

Ambas as séries são praticamente simétricas e com um valor de curtose muito pequeno (platicúrticas). Contudo, enquanto os dados da MRS apresentam uma distribuição aproximadamente normal, a grande amplitude entre o terceiro e o primeiro quartil, da série da FURG, que congrega classes de pequena frequência relativa, dando à distribuição uma forma bastante irregular, como de um polinômio de 4ª Ordem (Figura 5.54).

Dos dados observados pela FURG, 50% são superiores a 4.224 mg.kg<sup>-1</sup> de P-Total (mediana) e cerca de 41% dos dados da MRS estão compreendidos nas duas últimas classes superiores, limitados entre os valores 8.449 e 10.714 mg.kg<sup>-1</sup> de P-Total.

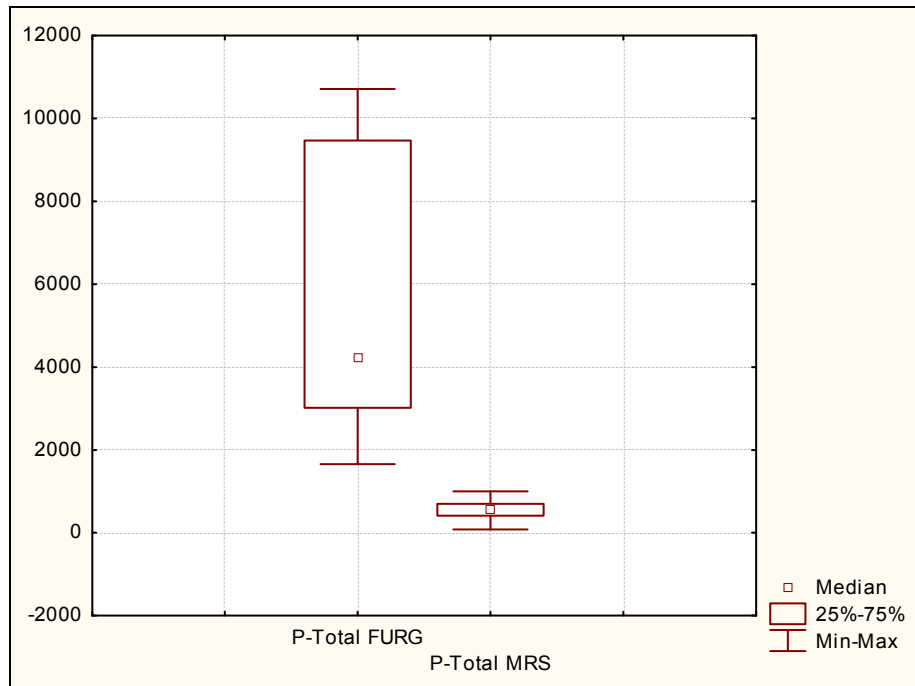


Figura 5.51 – Gráfico de Box & Whisker com as distâncias interquartílicas de P-Total.

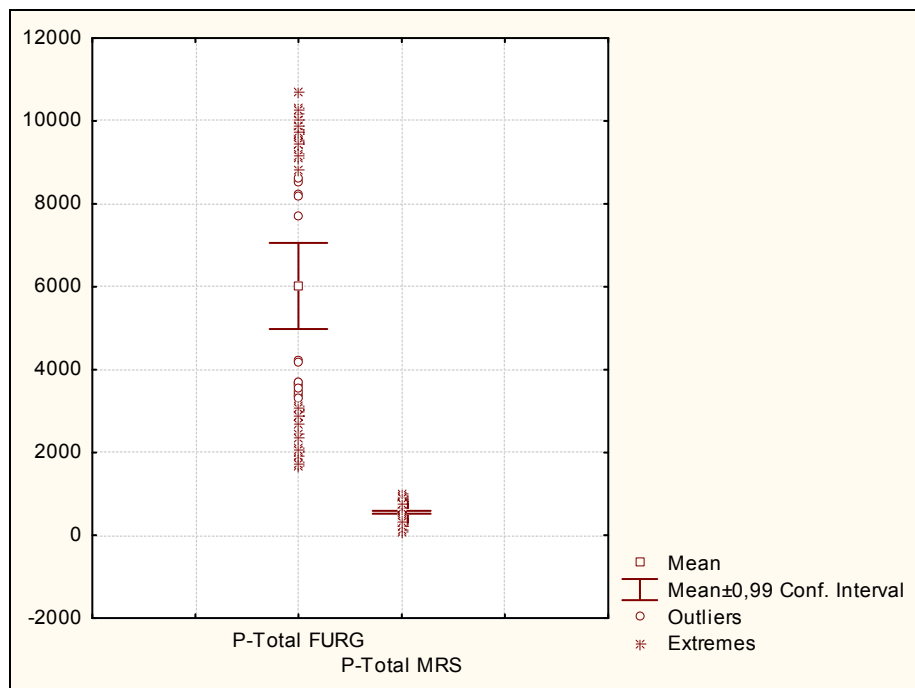


Figura 5.52 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de P-Total.

Os gráficos de valores extremos plotados na Figura 5.53, reafirmam as enormes diferenças entre as duas séries de dados. O intervalo de confiança da média da série da FURG varia de 4.977,3 a 7.059,2 mg.kg<sup>-1</sup> de P-Total, cerca de dez vezes superior àquele verificado para os dados da MRS.

#### 5.9.4 Ajuste das distribuições de probabilidades

Apenas a distribuição Beta conseguiu modelar, ainda que com baixo nível de ajuste (NS = 0,126) os dados da FURG (Tabela 5.61, Figura 5.54). Isto devido a forma pouco convencional com os que dados distribuem-se em duas classes modais em ambos extremos da distribuição.

Para os dados da MRS, a distribuição Beta foi a que melhor representou este conjunto de dados com um NS = 0,672. A distribuição Normal e a distribuição de Weibull, ainda que com níveis menores de ajuste, modelaram adequadamente os dados, foram altamente significativas com NS = 0,359 e NS = 0,205, respectivamente. Todas as outras distribuições em estudo obtiveram níveis significativos de ajuste (Tabela 5.61 e Tabela 5.62).

Pode-se verificar pela análise das Figuras 5.54 e 5.55, que a distribuição Beta modelou adequadamente os dados superiores da série da MRS e superestimou os da FURG. A partir dos parâmetros apresentados na Tabela 5.61, para a distribuição Beta pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de P-Total, para ambas as série de dados.

No que concerne a probabilidade do VO (2.000,0 mg.kg<sup>-1</sup>) do Conama ser superado, com base nos parâmetros estimados pela distribuição Beta, para os dados da FURG, obtém-se uma probabilidade P = 0,851, de ocorrerem valores superiores ao limiar estabelecido na Resolução 344/2004.

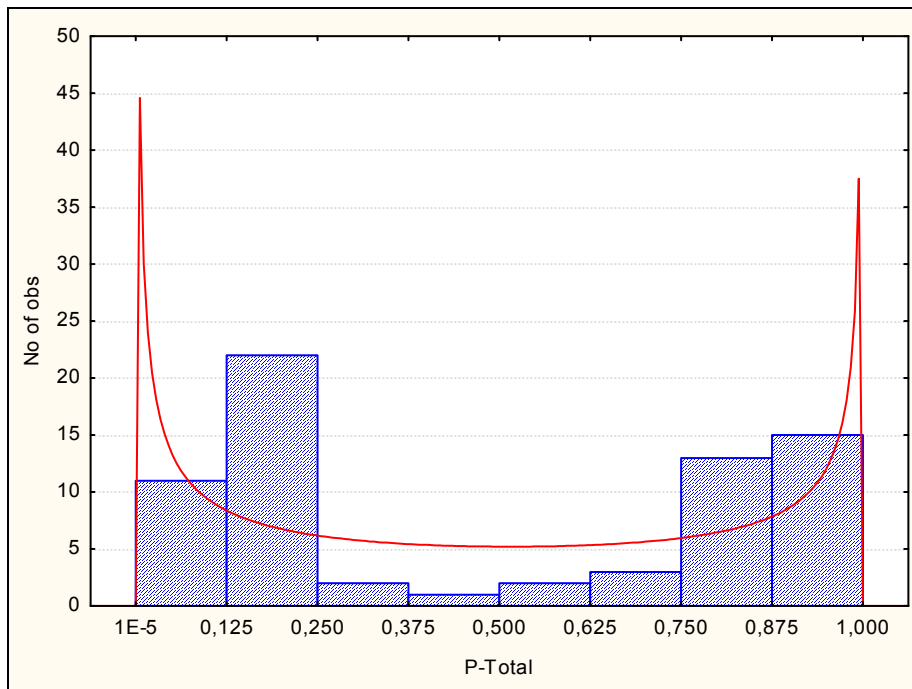


Figura 5.53 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de P-Total da FURG.

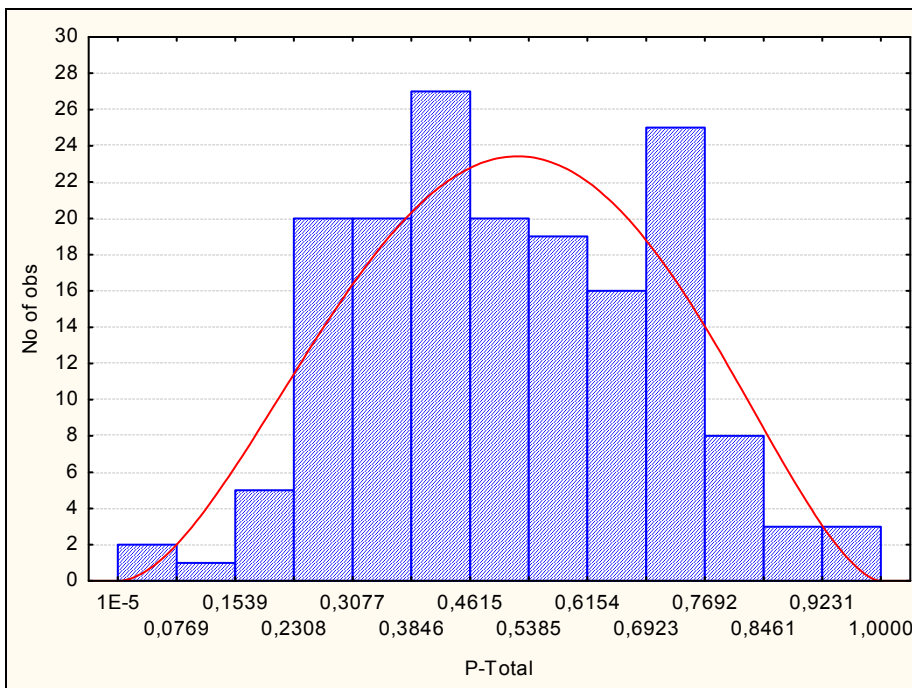


Figura 5.54 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de P-Total da MRS.

Tabela 5.61 – Parâmetros de ajuste dos dados de P-Total às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS	$\alpha$	$\beta$	K-S	NS
<i>Beta</i>	0,448	0,482	<b>0,142</b>	<b>0,126</b>	2,869	2,698	<b>0,058</b>	<b>0,672</b>
<i>Gama</i>	2,585	$4,0 \times 10^{-4}$	0,187	0,016	8,506	0,015	0,073	0,336
<i>Weibull</i>	1,597	7.213	0,172	0,034	3,463	615,698	0,095	0,089

Tabela 5.62 – Parâmetros de ajuste dos dados de P-Total às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS				
	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS	$\bar{X}$	$s$	K-S	NS
<i>Log-Normal</i>	6.477,15	4.729,38	0,203	0,007	557,779	212,916	0,085	0,200
<i>Normal</i>	6.425,50	4.437,97	0,194	0,013	553,29	177,881	0,062	0,536

## 5.10 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

### 5.10.1 A série de dados da FURG

A análise da Figura 5.56 explicita que todas as observações encontram-se muito abaixo do VO (10%) da Resolução Conama N.º 344/2004.

Os níveis Topo e Fundo apresentam uma correlação significativa a 5% de probabilidade, com  $r = 0,674$ , enquanto que as outras combinações Topo-Meio e Meio-Fundo, apresentaram valores de  $r$  não significativos, respectivamente de 0,077 e 0,310.

Ao analisar-se a tendência dos dados, para os três níveis em tela, por meio de uma regressão linear, constata-se que esta é não significativa ao nível  $\alpha = 0,05$ . Com valores  $t = 1,592$ ; 0,959 e -0,455, para os níveis Topo, Meio e Fundo, respectivamente. Salienta-se, entretanto que, ao contrário do observado para os dados nos níveis Topo e Meio, cujos valores são decrescentes, no sentido estuário-oceano (do testemunho 12 ao 01) os valores de Fundo têm comportamento inverso.

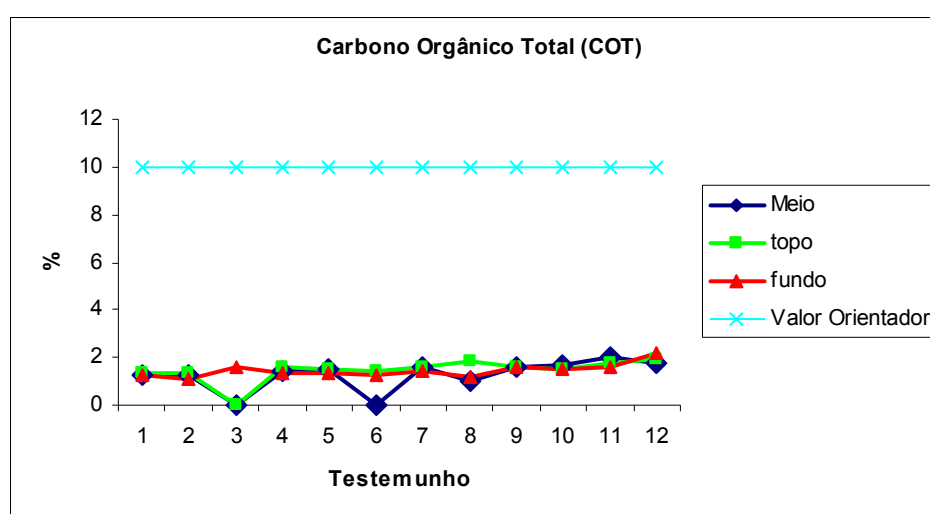


Figura 5.55 – Comportamento do COT nos testemunhos amostrados pela FURG.



As médias dos três níveis amostrados (Tabela 5.63) foram comparadas pelo teste  $t$ , ao nível de significância  $\alpha=0,05$ . As variâncias foram verificadas pelo teste  $F$ , no mesmo nível de significância. Para as três comparações apresentadas na Tabela 5.64, as variâncias resultaram homogêneas. Os valores de  $t$ , nas comparações apresentadas não foram significativos. Portanto, aceita-se a hipótese de que não existem diferenças, em média, entre as observações de COT, nos níveis analisados.

Tabela 5.63 – Estatísticas utilizadas na comparação do COT, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	1,452	1,269	1,447
<i>Variância</i>	0,234	0,402	0,082

Tabela 5.64 – Resultados do teste  $t$  para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><math>t</math></b>	<b>P (<math>t</math>)</b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	0,792	0,437
<i>Topo – Fundo</i>	0,031	0,976
<i>Meio – Fundo</i>	-0,884	0,391

### 5.10.2 A série de dados da MRS

Da mesma forma que o verificado na série da FURG, os valores observados pela MRS ficaram muito abaixo do VO estabelecido pelo Conama. A maior parte dos dados ficou em torno de 2% de COT (Figura 5.57).

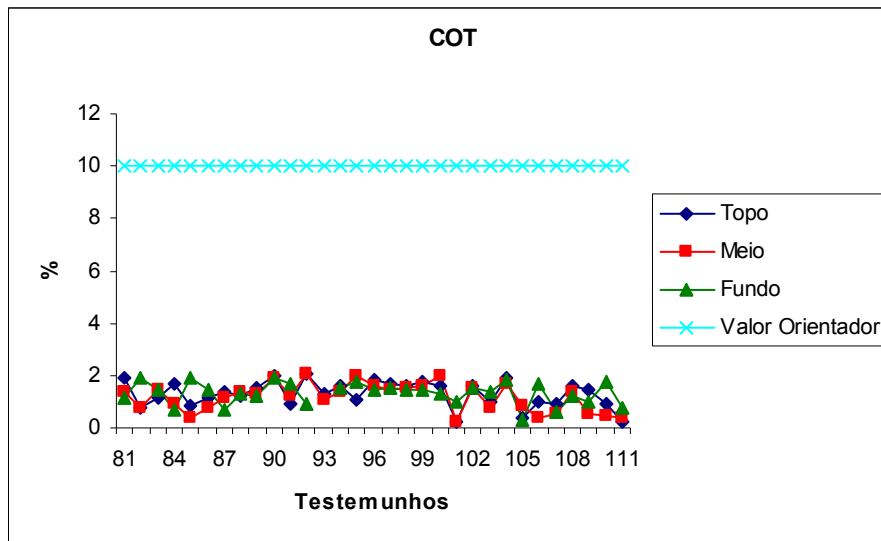


Figura 5.56 – Comportamento do COT nos testemunhos amostrados pela MRS.

Os testes de comparação entre as médias dos valores amostrais (Tabela 5.65), nos três níveis estudados (Topo, Meio e Fundo) pelo teste *t*, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , são mostrados na Tabela 5.66.

Tabela 5.65 – Estatísticas utilizadas na comparação do COT, nos diferentes níveis do sedimento.

	<b>Topo</b>	<b>Meio</b>	<b>Fundo</b>
<i>Média</i>	0,130	1,164	1,305
<i>Variância</i>	0,244	0,280	0,184

Tabela 5.66 – Resultados do teste *t* para as comparações entre os três níveis do sedimento.

	<b><i>t</i></b>	<b><i>P (t)</i></b>
<b><i>Comparações</i></b>		
<i>Topo – Meio</i>	1,055	0,295
<i>Topo – Fundo</i>	0,026	0,979
<i>Meio – Fundo</i>	-1,137	0,260

Resultaram homogêneas as variâncias das três comparações entre os níveis em tela. Os resultados do teste  $t$  obtiveram valores de  $t$ , não significativos ao nível de 0,05 de significância. Destarte, aceita-se a hipótese de nulidade ( $H_0: DM=0$ ) de que, em média, não existem diferenças de COT, entre os níveis estudados.

### 5.10.3 A comparação entre as duas séries de dados (FURG-MRS)

A comparação entre as duas séries foi realizada pelo teste  $t$ , ao nível de 5 % de significância. O teste  $F$ , da razão entre variâncias resultou não significativo. O valor de  $t = -3,746$ , resultou significativo ( $NS = 2,26 \times 10^{-4}$ ). A hipótese de nulidade ( $H_0: DM = 0$ ) foi rejeitada. Portanto, existem diferenças significativas, ao nível  $\alpha = 0,05$ , entre as médias das duas séries de dados.

Pode-se observar, entretanto, que os valores das duas séries são muito semelhantes, sobretudo, destacam-se a amplitude de variação e os valores máximos. Contudo, a variabilidade dos dados não é de mesma grandeza, com CVs e formas muito discrepantes. Enquanto a série da FURG tem uma pronunciada assimetria à direita, na série da MRS apresenta uma distribuição aproximadamente normal. A assimetria da distribuição dos dados da FURG é provocada por uma classe extrema interior, isolada por dois intervalos sem ocorrência e que congrega apenas 4% das observações (Figuras 5.58). Mas é a curtose que distingue estas duas séries. A série da FURG, leptocúrtica, concentra cerca de 75% dos dados observados, em duas classes superiores, limitadas pelos valores 1,368 e 1,902% de COT; enquanto na série da MRS, platicúrtica, os dados da MRS distribuem-se em um número maior de classes.

Os valores extremos plotados na Figura 5.58, demonstra a diferença entre as duas séries de dados. O limite inferior do IC (99%) para a média dos dados da FURG (1,398 %), ainda que pouco, é maior que o limite superior do IC da média dos dados da MRS (1,367%). Pode-se verificar também que poucas observações extrapolaram o IC para a média dos dados da FURG. Destaca-se que, com exceção de um único valor extremo todas as observações realizadas pela FURG foram superiores a 1,0% de COT.

Tabela 5.67 – Medidas estatísticas para as duas séries de dados em estudo (COT).

<i>Estatísticas</i>	FURG	MRS
<i>Nº. de Obs.</i>	69	172
<i>Média</i>	1,525	1,268
<i>Desvio Padrão</i>	0,397	0,500
<i>Coef. Variação</i>	0,260	0,394
<i>Amplitude</i>	2,140	2,040
<i>Mínimo</i>	0,030	0,080
<i>1º Quartil</i>	1,400	0,915
<i>Mediana</i>	1,590	1,320
<i>3º Quartil</i>	1,750	1,665
<i>Máximo</i>	2,170	2,120
<i>Assimetria</i>	-2,259	-0,359
<i>Curtose</i>	7,021	-0,759

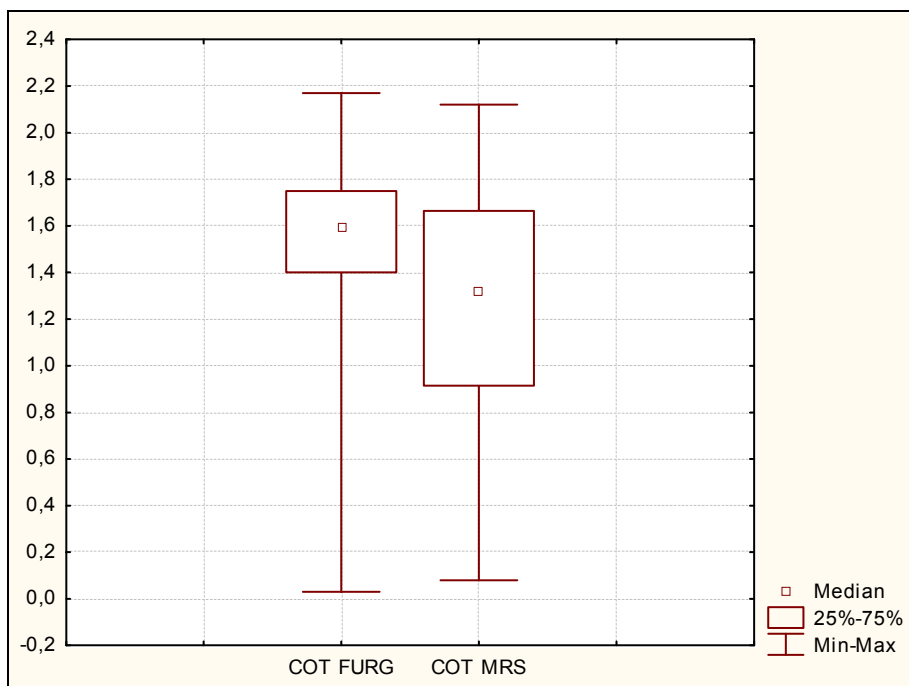


Figura 5.57 – Gráfico de Box &amp; Whisker com as distâncias interquartílicas de COT.

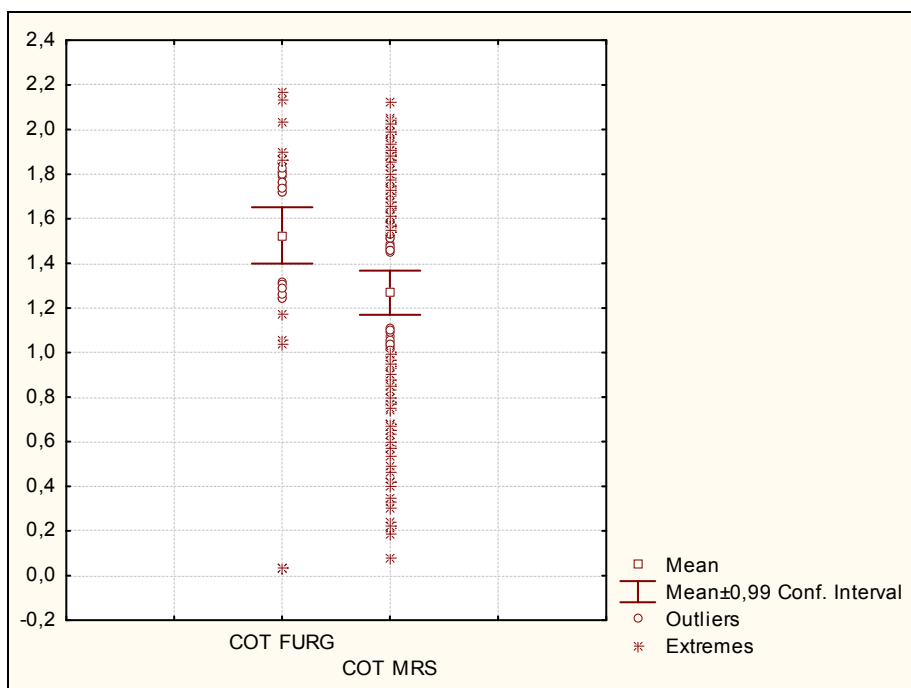


Figura 5.58 – Gráfico do intervalo de confiança da média (0,99) e valores extremos de COT.

### 5.10.4 Ajuste das distribuições de probabilidades

Apenas a distribuição Normal conseguiu modelar, ainda que com baixo nível de ajuste (NS = 0,074) os dados da FURG (Tabela 5.68). Isto é devido à forte influência de valores extremos inferiores, que afetaram de modo significativo a média da distribuição. Esta influência na forma da distribuição pode ser vista na Figura 5.60.

A distribuição Beta, para os dados da MRS, foi a que melhor representou este conjunto de dados com um NS = 0,999 (Tabela 5.67). A distribuição Normal e a distribuição de Weibull, ainda que muito abaixo do nível de ajuste obtido pela distribuição Beta, foram significativas com NS = 0,359 e NS = 0,205, respectivamente. Contudo estas distribuições superestimam os valores extremo superiores.

A partir dos parâmetros apresentados para a distribuição Beta ( $\alpha = 1,772$  e  $\beta = 1,271$ ) pode-se estimar as probabilidades de ocorrência de COT. Obviamente, a probabilidade, a partir dos dados da MRS, ou mesmo da FURG, de ocorrência de valores superiores ao estabelecido para o COT, na Resolução Conama 344, é nula ( $P = 0$ ), dado a enorme diferença entre o Valor

Orientador (10%) e o Valor Máximo observado em ambas as séries ( $\approx 2\%$ ). O ajuste da distribuição Beta aos dados de COT, da MRS, pode ser visualizado na Figura 5.61.

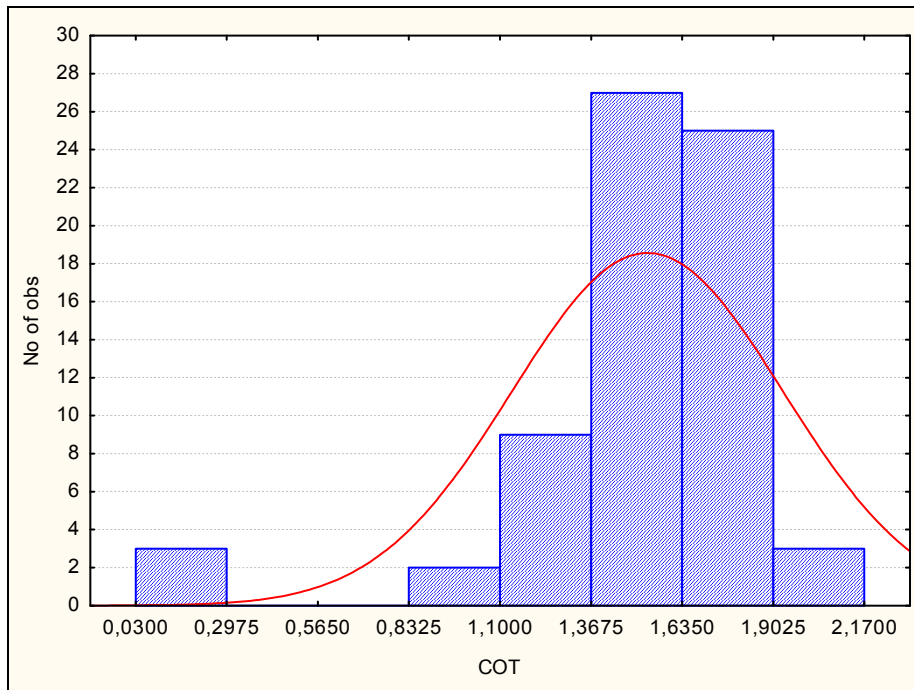


Figura 5.59 – Ajuste da distribuição Normal aos dados de COT da FURG.

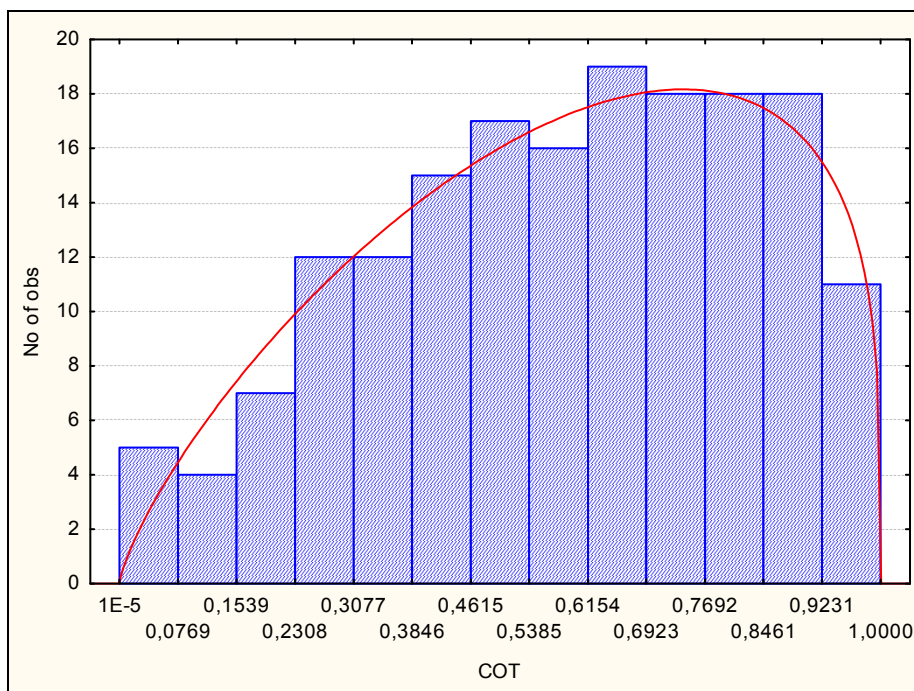


Figura 5.60 – Ajuste da distribuição Beta aos dados de COT da MRS.

Tabela 5.68 – Parâmetros de ajuste dos dados de COT às distribuições Beta, Gama e Weibull, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS		
	$\alpha$	$\beta$	K-S	$\alpha$	$\beta$	K-S
<i>Beta</i>	3,581	1,547	0,164	1,772	1,271	<b>0,028</b>
<i>Gama</i>	3,278	2,445	0,330	4,540	3,565	0,116
<i>Weibull</i>	3,958	1,624	0,205	2,837	1,426	0,081

Tabela 5.69 – Parâmetros de ajuste dos dados de COT às distribuições Normal e Log-Normal, resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e respectivos níveis de significância (NS).

<i>Distribuições</i>	FURG			MRS		
	$\bar{X}$	$s$	K-S	$\bar{X}$	$s$	K-S
<i>Log-Normal</i>	1,867	1,851	0,381	1,322	0,787	0,136
<i>Normal</i>	1,525	0,397	<b>0,155</b>	1,274	0,497	0,071

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 AS SÉRIES DE DADOS

Foram avaliadas duas séries de dados com origens distintas e diferentes estratégias amostrais. A série da FURG constituída inicialmente por 12 testemunhos que abarcaram toda a extensão da área portuária e canal de acesso e a série da MRS, que compreendeu a área do canal de acesso e a área do Super Porto. Em ambos os casos foram seguidas as recomendações estabelecidas na Resolução Conama 344/2004 que estabelece um número mínimo de amostras em função dos volumes a ser dragados, de forma a caracterizá-los, horizontal e verticalmente.

Em geral a média dos dados da série da FURG foi significativamente superior a média dos dados da MRS. Isto poderia indicar que existem dois ambientes distintos quanto ao nível de contaminação, acima e abaixo do Superporto. A redução dos teores dos elementos estudados poderia ser um efeito da aceleração hidrodinâmica nos canais o que teria uma influência determinante na eliminação dos sedimentos. Poderia estar ocorrendo coletas em locais altamente contaminados, ou de sedimentos finos exclusivamente, o que introduziria um viés nos dados coletados afetando o resultado final das análises. As diferenças entre as duas séries de dados poderiam ser devidas ao fato de que a série de dados da FURG abrange toda a região portuária, enquanto a série da MRS analisou apenas a região do Superporto (início da malha amostral em frente ao terminal petroleiro) e canal de acesso. Nesta perspectiva acredita-se que as principais fontes de contaminação pelos elementos estudados provêm das áreas próximas ao centro urbano do município e indústrias de fertilizantes, o que concorda com Granato (2005).

A comparação entre os níveis amostrados (Topo, Meio e Fundo) não encontrou diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, entre as médias dos níveis, comparadas duas a duas, para todos os elementos analisados, nas séries da FURG e MRS. Isto leva a crer que as



diferenças eventualmente encontradas, sobretudo valores extremos, devem-se a aleatoriedade dos dados e, por conseguinte, a forma de abordagem amostral. Nesta perspectiva, acredita-se que amostras superficiais seriam suficientes para avaliar-se os níveis de contaminação dos sedimentos a serem dragados, em eventuais manutenções de calado nos canais que acessam às instalações portuárias em Rio Grande. Para tanto o método de amostragem estabelecido pela Resolução 344 deveria ser modificado.

Por outro lado, a Resolução Conama 344/2004, não estipula nenhuma técnica amostral ou métodos estatísticos para investigação de longo prazo. Ou seja, o conhecimento adquirido não serve de base para prospecções futuras. Não apenas são preteridas as informações geradas como também nenhuma reflexão crítica é feita acerca da abordagem normativa em vigor. Acredita-se que, o acúmulo de informações deveria servir de base para avanços na compreensão da forma como os contaminantes distribuem-se ao longo do estuário. Isto certamente se faz necessário já que, dragagens de manutenção em Portos sempre acontecerão periodicamente. Neste sentido, deve-se discutir as diferentes aproximações amostrais para a investigação de sítios com sedimentos contaminados. Diversas abordagens estatisticamente fundamentadas fornecem ferramentas para calcular o número mínimo de amostras necessárias para determinar um parâmetro medido com um determinado grau de confiança. Abordagens imparciais para estruturar um plano de amostragem e métodos de interpretação e extrapolação de dados podem ser verificadas em Olin-Estes (2000), Olin-Estes & Palermo (2000) e mais detalhadamente em Isaaks & Srivastava (1989).

Exemplo destas abordagens os testes de autocorrelações entre as amostras, que indicam a distância mínima a partir da qual existe independência entre os dados, a um determinado nível de probabilidade. As autocorrelações são medidas que informam o quanto o valor de determinada realização de uma variável aleatória é capaz de influenciar e ser influenciada por valores circunvizinhos. O conhecimento desta dependência estabeleceria um número adequado de amostras para a determinação dos teores de ocorrência dos elementos, com validade estatística. Possivelmente isto proporcionaria uma redução da necessidade de um grande número de amostras com conseqüente economia na realização dos estudos.

A utilização de técnicas geoestatísticas na exploração dos sítios de interesse, nos canais de acesso ao Porto e áreas adjacentes, pode ampliar o conhecimento acerca dos níveis de contaminação e da distribuição destes elementos na região estuarina. A economia gerada, caso

elimine-se a necessidade de testemunhos em profundidade, poderia ser aplicada na melhoria das técnicas de abordagem do problema e na ampliação do tamanho da amostra. Estabelecer-se-ia com isto, uma malha amostral que cobrisse a região estuarina inserida na área de domínio concedida à autoridade portuária.

Para a região estuarina e, sobretudo para os canais de navegação, objeto de dragagens periódicas, o mais importante inicialmente é determinar, a distância máxima entre dois pontos amostrais. Isto pressupõe inicialmente um modelo amostral que leve em consideração o conhecimento acumulado acerca dos locais contaminados e o efeito da dinâmica estuarina sobre estes elementos.

Com isso inverter a lógica de que as dragagens são danosas ao ambiente estuarino e operar no sentido de transformá-las em processos de descontaminação destes ambientes. Portanto, abordagens que levem em conta as distribuições destes elementos em toda a área de domínio da Suprg, e não apenas àquelas de interesse à navegação, devem ser estabelecidas.

## **6.2 OS ELEMENTOS ESTUDADOS**

Para todos os contaminantes analisados, a comparação das realizações nos três níveis (Topo, Meio e Fundo) nas duas séries estudadas (FURG e MRS), não encontrou diferenças significativas entre as médias das observações. Isto leva a crer que existe um aporte constante e permanente destes contaminantes na região estuarina e que as diferenças encontradas são devidas simplesmente à aleatoriedade dos dados. Destarte, acredita-se que apenas amostras superficiais (Topo) seriam suficientes para caracterizar a qualidade dos sedimentos de interesse para dragagens de manutenção nos canais do porto de Rio Grande.

Em geral, os valores analisados pela Furg, dos diversos elementos em estudo declinam na direção do oceano. Este é o comportamento esperado, já que as fontes de contaminação localizam-se nas instalações industriais e no centro urbano do município. Esta tendência também foi verificada por Granato (2005). Entretanto, para os elementos Cr, Cu, Hg, Ni e

COT, os níveis de Fundo apresentaram uma tendência contrária, no sentido oceano-estuário. Esta tendência inversa dos dados, verificada no nível Fundo, poderia ser atribuída ao processo amostral e, portanto aleatória, como também, à dinâmica de penetração da cunha salina, que redistribui os sedimentos ao longo do canal, sob condições hidrológicas e climáticas favoráveis.

Os elevados coeficientes de correlação encontrados para todos os elementos analisados entre os níveis Topo e Meio contribuem à hipótese de que não existem diferenças no comportamento da distribuição destes elementos no estuário. Corrobora, também, na assertiva de que há um constante aporte destes contaminantes na região estuarina.

Para a série da MRS, a distribuição Beta foi a que melhor modelou os dados de As, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn e P-Total. O COT e o N-Total, foram melhor ajustados pela distribuição Normal e Gama, respectivamente. A distribuição Normal foi, para os elementos As, Cr, Pb e P-Total, da série da MRS, a segunda distribuição que melhor ajustou-se aos dados.

Para os dados da FURG, a distribuição Normal foi a que melhor modelou os dados de As, Cr, Pb, COT e N-Total e a distribuição Beta os dados de Cu, Zn, e P-Total. Os dados de Hg da FURG foram modelados pela distribuição Log-normal.

As estimativas do COT e do Zn ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelo Conama (2004) e, portanto a probabilidade destes elementos superarem estes limiares é  $P=0$ . A partir das distribuições que melhor ajustaram-se aos dados observados pode-se verificar na Tabela 6.1, as probabilidades dos outros contaminantes em estudo igualarem ou superarem o limiar estabelecido pela Resolução 344 (Conama, 2004). Os diversos elementos em estudo podem ser classificados em função dos níveis de probabilidades alcançados. Os elementos Cr e Pb, ocorreram com probabilidades inferiores a  $P=0,01$ . O As, o Cu e o Ni atingiram níveis de probabilidade compreendidos entre  $0,01 \leq P \leq 0,05$ , enquanto o Hg, o N-Total e o P-Total, atingiram níveis de probabilidade extremamente elevados, superiores a 45%. A partir destas observações, considera-se a ocorrência dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e COT como não significativas ao nível de probabilidade  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 6.1 – Probabilidade do valor esperado de teores ( $x$ ) iguais ou superiores ao Nível 1 ( $X$ ) do Conama (2004) dos contaminantes em estudo.

<i>Elementos</i>	<b>As</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>N-Total</b>	<b>P-Total</b>
<b><math>P(X \leq x)</math></b>	0,0126	0,0047	0,0348	0,4731	0,0299	0,0017	0,5090	0,8510
<b>Nível I (<math>X</math>)</b>	8,2	81,0	34,0	0,15	20,9	46,7	4.800,0	2.000,0

De ambas as séries de As, as medidas de probabilidades mais conservadoras foram obtidas a partir da série da FURG, modelada pela distribuição Normal. Por meio dos parâmetros ajustados à esta distribuição verifica-se que a probabilidade do teor estabelecido pelo Conama (2004), ser igualado ou superado é  $P=0,0126$ . Embora a média de As da MRS ( $\bar{X}=5,365$  mg.kg<sup>-1</sup>) seja significativamente superior a da FURG (4,311 mg.kg<sup>-1</sup>), ambas as distribuições verificaram valores máximos semelhantes entre si (8,10 e 8,22 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Entretanto, ambos são muito inferiores àqueles verificados por Baisch *et al* (2002 *a*), na região do porto Novo, a partir de amostragens superficiais e sub-superficiais, que encontraram valores de As entre 9,2 e 39,6 mg.kg<sup>-1</sup>. Granato (2005) acompanhou o monitoramento de diversas variáveis, antes e depois do processo de dragagem. Nas amostras anteriores à dragagem a média dos valores encontrados por esta autora foi de 6,72 mg.kg<sup>-1</sup> ( $s = 6,78$  mg.kg<sup>-1</sup>) e após atingiu 19,33 mg.kg<sup>-1</sup> ( $s = 7,75$  mg.kg<sup>-1</sup>). Granato (*opus cit.*) atribui este aumento dos teores de As ao efeito granulométrico, após a dragagem os sedimentos passaram de arenosos para essencialmente siltico-argilosos. Rosa (2002) também encontrou elevados teores de As, nos sedimentos oriundos de áreas rasas da orla da laguna. Na estação de coleta localizada próxima à uma indústria de fertilizantes encontrou uma média de As de 19,17 mg.kg<sup>-1</sup>, com variação de 13,36 a 32,70 mg.kg<sup>-1</sup>. Outras estações amostradas por Rosa (*opus cit.*) atingiram teores que variaram de um mínimo 12,78 a um máximo de 18,58 mg.kg<sup>-1</sup>, na estação próxima à base do molhe oeste, desembocadura da Laguna no oceano. A estação cinco (7,55 a 26,25 mg.kg<sup>-1</sup>), a estação sete (9,33-23,48 mg.kg<sup>-1</sup>) situada no porto Novo, dentre outras recebem aportes significativos de As. Dentre os elementos analisados por Burgueño *et al* (2008) o As não foi detectado pelo EAA. Entretanto, Granato (*opus cit.*) verificou que os teores mínimos de As, em locais fora da região de dragagem (ponto de controle), ocorriam na ordem de 4,2 mg.kg<sup>-1</sup>, o que evidenciaria uma ocorrência natural deste elemento no estuário. Na área do Superporto, os valores médios foram de 6,72 mg.kg<sup>-1</sup> ( $\pm 6,78$ ) e um valor máximo de 19,5 mg.kg<sup>-1</sup>. Para Mirlean *et al* (2001), a indústria de

fertilizantes tem grande participação na contaminação por As ao longo do estuário da laguna dos Patos, posto que a matéria prima e produtos, empregados por este setor, apresentam concentrações de arsênio que ultrapassam  $300 \text{ mg.kg}^{-1}$ . É provável, dadas as observações de outros autores que a ocorrência de As na região estuarina esteja subestimada em ambas as séries em análise, evidenciando a necessidade de melhores abordagens amostrais.

As probabilidades de ocorrência de Cr, foram melhor ajustadas pela distribuição Normal aos dados da FURG. A estimativa da probabilidade de ocorrer um teor igual ou superior, àquele estabelecido pelo Conama para o Nível 1, é  $P = 4,7 \times 10^{-3}$ . O teor médio de Cr ( $43,547 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), verificado na série da FURG é próximo daquele encontrado por Granato (2005) no período pós-dragagem ( $46,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), enquanto que a média dos dados da MRS ( $28,574 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) aproximam-se da obtida por esta autora no período pré-dragagem,  $23,52 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cr. Valores médios semelhantes foram verificados por Baisch (2007), que obteve um teor médio de Cr de  $44,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ , com desvio padrão de  $17,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  e teores mínimo e máximo de, respectivamente,  $11,1$  e  $64,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Kerstner (2003) ao estudar os sedimentos lamíticos depositados em bacias de contenção encontrou teores médios de Cr de  $55,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Rosa (2002) trabalhou com sedimentos marginais da orla estuarina da laguna dos Patos e encontrou o maior teor médio  $26,23 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cr e uma amplitude de variação de  $11,22$  a  $60,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ , em estação de coleta localizada próximo às indústrias de fertilizantes, local de lançamentos de esgotos domésticos, industriais e pluviais. A partir de metodologia para encontrar o melhor normalizante geoquímico, França (1998) estabeleceu o valor de *background* do Cr, no estuário da Laguna dos Patos em  $19 \text{ mg.kg}^{-1}$ , encontrou porém, valores médios de  $40,87 \text{ mg.kg}^{-1}$  e Baisch (1988) encontrou um valor de  $53,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cr na área de estudo. A probabilidade de ocorrerem teores de Cr acima do valor de *background*, estabelecido por França (1998), calculada com os parâmetros da distribuição Normal, estabelecidos a partir dos dados de Cr da série da FURG ( $\bar{X} = 43,547$  e  $s = 14,4122 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), é de  $95,6\%$ . Isto significa que, menos de  $5\%$  do Cr é de origem natural. Baisch (1987) atribui a ocorrência de Cr aos resíduos minerais resistentes ao tratamento de rochas fosfáticas utilizadas na fabricação de fertilizantes. Contudo, ainda que muito acima dos teores naturais esperados para a região, a probabilidade, a partir dos parâmetros pré-citados, de ocorrerem teores superiores ao estabelecido pelo Conama (2004) é muito pequena. Por outro lado, a baixa probabilidade expressa o quanto uma norma geral como a Resolução Conama 344/2004, pode tolerar níveis elevados de contaminação antrópica.

O Cu foi significativo ao nível de 5%, com probabilidade  $P=0,0348$  de superar o Nível 1 do Conama (2004). Os teores médios de Cu verificados neste trabalho, para os dados da FURG, foram da ordem de  $26,471 \text{ mg.kg}^{-1}$ , superiores aos valores médios observados por Granato (2005),  $19,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  ( $s = 13,83 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e  $11,28 \text{ mg.kg}^{-1}$  ( $s = 2,082 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), antes e após o processo de dragagem, respectivamente. Os valores de Granato (*opus cit.*) aproximam-se daqueles observados em média pela MRS para o canal de acesso ( $17,886 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Granato (*opus cit.*) verificou valores máximos, para os períodos citados, de  $32,50$  e  $14,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente, muito inferiores aos verificados neste trabalho para os dados da FURG ( $42,80 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Baisch *et al* (2002), encontraram um teor médio de Cu de  $28,9$  e um máximo de  $42,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Entretanto, Baisch *et al* (2007) encontraram teores médio e máximo de  $16,63$  ( $s=5,79$ ) e  $22,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente. Kerstner (2003) encontrou uma média de  $31 \text{ mg.kg}^{-1}$  nos sedimentos lamíticos dragados na região do Porto Novo e Burgueño *et al.* (2008), para sedimentos coletados nas mesmas bacias, encontraram um teor médio de  $19,90 \text{ mg.kg}^{-1}$  e um máximo de  $25,82 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cu. França (1998) encontrou teores médios de  $29,12 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cu, e estabeleceu em  $19 \text{ mg.kg}^{-1}$  o valor de *background*, para o sul da região estuarina. Mesmo em áreas marginais rasas o Cu pode ocorrer em grandes concentrações na região estuarina da laguna dos Patos. Rosa (2002) encontrou valores que variaram de  $8,76$  a  $62,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ , com um teor médio de  $43,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ , nos sedimentos da região do Porto Novo. As outras estações avaliadas por Rosa (*opus cit.*) ficaram abaixo do valor de *background* estabelecido por França (*opus cit.*). Em Baisch (1997), a região próxima ao emissário cloacal do município de Rio Grande, apareceu como a mais enriquecida por Cu. Esta poderia ser a origem deste contaminante, contudo, pode também ter origem indireta, devido a grande capacidade de fixação dos metais pela matéria orgânica. O incremento dos teores orgânicos dos sedimentos pode aumentar a contaminação metálica. Esse fato é particularmente importante para o Cu, pois esse metal apresenta uma forte associação geoquímica pela matéria orgânica. A fração metálica retida pode ser proveniente de outros pontos do estuário.

Os valores Hg observados pela FURG, modelados pela distribuição Log-normal, tem probabilidade  $P=0,473$ , de superar o Nível 1 do Conama (2004) e  $P=0,0097$  de superar o limiar do Nível 2. São níveis extremamente elevados de ocorrência deste elemento, contudo, o valor médio de Hg ( $\bar{X} = 0,142$ ) verificado é muito superior àquele encontrado por Granato (*opus cit.*) para os períodos pré e pós dragagem, respectivamente,  $0,035$  e  $0,022 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Da mesma forma, os valores máximos observados pela autora situam-se muito abaixo dos

verificados na série apresentada. No período pré dragagem, Granato (2005), encontrou um valor máximo de  $0,0689 \text{ mg.kg}^{-1}$  e no período pós dragagem este valor foi de  $0,051 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Estes resultados podem indicar que, exista uma variabilidade temporal, muito maior que espacial. Para os índices de Hg, Granato (*opus cit.*), encontrou um teor médio de  $0,0350$ , com desvio padrão de  $0,0240 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Para o Ponto de Controle deste elemento, esta autora obteve um teor de  $0,0253 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Baisch *et al.* (2007) encontraram teores médios  $0,118 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Hg (desvio padrão de  $0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), com variação de  $0,027$  a  $0,156 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Burgueño *et al* (2008), não detectaram o Hg, nos sedimentos lamíticos analisados. Entretanto, Costa (2007) estudou a ocorrência de Hg total nos sedimentos do Saco da Mangueira e encontrou uma concentração média de  $0,214 \text{ mg.kg}^{-1}$  com variação de  $0,09$  a  $0,64 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Os valores na concentração de Hg total em todas as amostras estudadas de sedimento ficaram acima do valor de *background* de  $0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ . O maior nível de contaminação pelo Hg foi apresentado pelos sedimentos localizados na Coroa do Boi ( $0,59$  e  $0,64 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Mirlean *et al* (2003) avaliaram a contribuição dos efluentes antropogênicos na contaminação por Hg nos sedimentos estuarinos. A concentração mais alta de Hg nos sedimentos ( $17 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) foi verificada próximo à saída dos efluentes do sistema de esgoto central da cidade. Controle insuficiente e ausência de tratamento de esgoto foram considerados as causas principais da poluição por mercúrio nos sedimentos em estudo. Nos sedimentos superficiais, para a região da laguna dos Patos, Cavalcante (2002), encontrou um valor do *background* de  $0,052 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Destarte, acredita-se que estes aportes significativos tenham origem antrópica, nas atividades industriais, juntamente com o lançamento de água residual sem tratamento e controle prévios. As probabilidades elevadas encontradas, tendo em vista as observações de outros autores são plausíveis e explicitam os elevados níveis de contaminação dos sedimentos por Hg.

A probabilidade do Ni superar o teor estabelecido para o Nível 1 do Conama (2004) é  $P=0,0299$ , significativo a 1% de probabilidade. Os valores médios e os desvios-padrão do Ni, sobretudo os observados pela FURG, aproximam-se daqueles verificados por Granato (*opus cit.*). Para os períodos pré e pós dragagem esta autora encontrou teores médios de Ni de  $17,47 \text{ mg.kg}^{-1}$  ( $s=6,90 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e  $19,64 \text{ mg.kg}^{-1}$  ( $s = 1,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente. Os valores máximos verificados pela autora assemelham-se ao teor máximo verificado para os dados da MRS ( $22,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, para os períodos citados, de  $25,5$  e  $20,96 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni. O teor médio deste elemento, encontrado por Burgueño *et al* (*opus cit.*) é da mesma magnitude. Estes autores encontraram uma média de Ni de  $20,83 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e um máximo de

23,23 mg.kg<sup>-1</sup> ao analisarem sedimentos lamíticos dragados no Porto Novo. Baisch (2007) encontrou teores bem inferiores, com média 9,41 mg.kg<sup>-1</sup> e desvio padrão de 3,29 mg.kg<sup>-1</sup> e valores mínimo e máximo de 3,24 e 14,20 mg.kg<sup>-1</sup> de Ni, respectivamente.

O Pb foi melhor ajustado pelas distribuições Beta e Normal, para os dados da MRS e FURG respectivamente. A série da MRS foi a que obteve o melhor ajuste aos dados observados, com um nível de significância de 0,6720. A probabilidade de o valor estabelecido pelo Conama (2004) – 35,0 mg.kg<sup>-1</sup>, ser superado, calculado a partir dos parâmetros da distribuição Beta, é de P= 0,0017. A ocorrência de valores iguais ou superiores ao estabelecido pelo Conama, não são significativos. A média dos valores observados foi de 9,43 mg.kg<sup>-1</sup> e um teor máximo de 34,4 mg.kg<sup>-1</sup>. Contudo, teores de Pb semelhantes aos observados por Granato (2005) não compuseram o rol das observações deste estudo, o que poderia aumentar a probabilidade de ocorrência deste contaminante. Teores médios e máximos de 11,51 e 16,18 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb, foram verificados por Baisch *et al* (2002). Baisch *et al* (2002 *b*) encontraram uma média de 18,1 mg.kg<sup>-1</sup>, com  $s = 8,0$  mg.kg<sup>-1</sup> de Pb, e um teor máximo de 27,9 mg.kg<sup>-1</sup>. O teor médio de Pb verificado por Kerstner (2003) foi da ordem de 13 mg.kg<sup>-1</sup>. Granato (*opus cit.*), no monitoramento, antes e após o processo de dragagem, encontrou, respectivamente, valores médios de Pb de 19,05 mg.kg<sup>-1</sup> ( $s = 13,83$  mg.kg<sup>-1</sup>) e 11,28 mg.kg<sup>-1</sup> ( $s = 2,082$  mg.kg<sup>-1</sup>). Os valores máximos respectivos foram de 32,5 e 14,50 mg.kg<sup>-1</sup>. Destaca-se que o valor máximo de Pb, verificado por Granato (2005) antes da dragagem, está compreendido na amplitude de ambas as séries em estudo. A série da FURG, que obteve valores maiores, teve uma variação de 0,03 a 43,64 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb. Baisch (2007) encontrou teores de Pb, muito abaixo daqueles verificados, neste e em outros trabalhos. O teor médio verificado por estes autores foi de 3,53 mg.kg<sup>-1</sup> com desvio padrão de 3,39 mg.kg<sup>-1</sup> e um teor máximo de 11,61 mg.kg<sup>-1</sup> de Pb. França (1998) estabeleceu em 29,0 mg.kg<sup>-1</sup>, o nível de *background* do Pb para a região sul do estuário da laguna dos Patos.

Os limites estabelecidos pelo Conama (2004) para o Zn não foram atingidos pelos dados observados nas duas séries, portanto a probabilidade deste elemento superar aquele limiar estabelecido é não significativa. Os valores máximos de Zn, observados pela FURG e MRS, foram 101,5 e 92,2 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, aproximam-se daqueles verificados por Granato (*opus cit.*), para os períodos pré e pós dragagem. Para estes períodos, esta autora encontrou teores máximos de Zn de 105,0 mg.kg<sup>-1</sup> e 93,60 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores médios verificados pela autora para os períodos citados são de 62,97 ( $s = 42,12$  mg.kg<sup>-1</sup>) e 89,22



mg.kg<sup>-1</sup> (s = 2,928 mg.kg<sup>-1</sup>). Este aumento nos teores médios após a dragagem e a maior homogeneidade dos dados, Granato (2005), atribuiu à menor variabilidade granulométrica dos sedimentos e ao aumento relativo das frações silte e argila. Kerstner (2003) encontrou um teor médio de Zn de 86,0 mg.kg<sup>-1</sup>, nos sedimentos depositados em bacias de sedimentação oriundos da dragagem da região do Porto Novo em 2001. Os valores médio e máximo, deste elemento, verificados por Baisch *et al* (2007) são, respectivamente, de 50,85 (s=18,49) e 68,02 mg.kg<sup>-1</sup>. As médias dos teores de Zn, das estações amostrais estudadas por Rosa (2002), onde ocorreram os maiores índices de Zn variaram de 35,587 mg.kg<sup>-1</sup> (estação 04) a 39,315 (estação 05), ambas próximas a indústrias de fertilizantes. As estações 06 e 07, situadas no Saco da Mangueira (próximo de um condomínio habitacional) e no Porto Novo, respectivamente apresentaram teores médios da mesma ordem de grandeza. O valor máximo verificado por Rosa (2002), 66,44 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn, foi realizado na área do Porto Novo. França (1998) estabeleceu o teor de *background* do Zn, para a região sul do estuário em 67,0 mg.kg<sup>-1</sup>. Entretanto, Baisch *et al* (2002) encontraram um teor médio de 166,5 e máximo de 396,7 mg.kg<sup>-1</sup>. O Zn é um dos elementos mais abundantes no esgoto doméstico (Azevedo *et al*, 1986) sendo está uma das principais fontes de Zn para o estuário da Laguna dos Patos (Baisch, 1987).

Os teores de COT ficaram muito abaixo do limiar estabelecido pelo Conama (10%), portanto a probabilidade deste limite ser superado, tendo em vista os valores verificados em ambas as séries em estudo é praticamente nula. Os valores médios e os máximos de COT, sobretudo os observados pela FURG, 1,53 e 2,17%, respectivamente, aproximam-se daqueles verificados por Granato (*opus cit.*) no período pré-dragagem. Para os períodos pré e pós dragagem esta autora encontrou teores médios de COT de 1,47% (s=0,75) e 1,35% (s = 0,13), respectivamente. Baisch *et al* (2007) encontraram valores semelhantes, com média de 1,58% e um teor máximo de 2,20% de COT. Os valores máximos verificados por Granato (*opus cit.*) foram, para os períodos citados, respectivamente de 2,16 e 1,51% de COT. Os percentuais médios de COT verificados por Kerstner (*opus cit.*) foram de 1,27%, com um valor máximo de 1,4%. Estes teores encontrados nos sedimentos do estuário da laguna dos Patos variam normalmente entre 1,0 e 4,0% (Griep *et al.*, 2003 *apud* Kerstner, 2003).

Os teores de N-Total e P-Total, para os dados das duas séries, FURG e MRS, são inversamente proporcionais. Enquanto na série da FURG o P-Total supera em muito o limite estabelecido pelo Conama (2.000 mg.kg<sup>-1</sup>), na série da MRS todos os valores ficaram abaixo

deste limite. O N-Total, ao contrário, na série da FURG seus teores não atingem o limiar estabelecido pelo Conama ( $4.800 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), e na série da MRS todas as observações superaram este limite. Os níveis de probabilidade para ambos os elementos são extremamente elevados, superando em muito os limites estabelecidos pelo Conama. Baisch (1997) encontrou teores de P e compostos fosfatados, provenientes das indústrias de fertilizantes e emissários cloacais, da ordem de  $8.550 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Baisch *et al* (2007) encontraram uma média de P-Total de  $6.152 \text{ mg.kg}^{-1}$  e um teor máximo de  $8.500 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Os fertilizantes nitrogenados são uma poderosa fonte de contaminação do solo e das águas. A amônia, utilizada na adubação e na composição de outros tipos de fertilizante agrícola, possui 45% de Nitrogênio é uma das grandes fontes de contaminação por N-Total na região estuarina. Outras fontes importantes são as indústrias de beneficiamento de pescados e os esgotos cloacais sem tratamento adequado e a contribuição das águas provenientes do saco da Mangueira. O excesso de nutrientes presentes na água e sedimentos pode causar grandes florações de algas e segundo Niencheski (2000), vários desses fenômenos têm sido registrados na Laguna dos Patos nos últimos anos, causado por superpopulações da cianobactéria *Microcystis*.

### 6.3 LEGISLAÇÃO COMPARADA

Na Tabela 6.2 são apresentados os critérios estabelecidos pela legislação em vigor para disposição de sedimentos em terra e em águas costeiras e os valores estabelecidos neste trabalho para os diversos contaminantes avaliados. São apresentados o limite superior do intervalo de confiança da média (0,99) e a estimativa de probabilidade calculada para  $P=0,99$ , para as distribuições que melhor ajustaram-se à série com maior amplitude de ocorrência. Estes resultados são contrastados com os limites estipulados na Resolução 344 (Conama, 2004), na Resolução 375 (Conama, 2006) e na Decisão de Diretoria 195-E (Cetesb, 2005).

Na Resolução 344 (Conama, 2004) são estabelecidos os limites de contaminação aceitáveis e estabelece dois níveis, em função da classificação das águas do corpo hídrico. Os critérios de qualidade apresentados nesta resolução, Níveis 1 e 2, para classificação do material dragado, dizem respeito aos limiares abaixo (Nível 1) ou acima (Nível 2) dos quais se prevê, respectivamente, baixa probabilidade e prováveis efeitos adversos à biota.

Para disposição em terra a Resolução 344 (Conama, 2004) remete à Decisão de Diretoria n.º 195-2005-E (Cetesb, 2005). Nesta norma constam os valores de prevenção (VP) e valores de interferência (VI) para solos e águas subterrâneas, no Estado de São Paulo. O VP é a concentração de determinada substância, no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea. Acima deste valor pode ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. O VI é a concentração de determinada substância acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. Os níveis de VI aqui apresentados referem-se àqueles estabelecidos para a disposição agrícola de sedimentos contaminados – Área de Proteção Máxima (APMax).

Na Resolução 375 (Conama, 2006) são definidos os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Como requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado esta resolução permite uma Concentração Máxima (CM), base seca de diversas substâncias inorgânicas (contaminantes) e a Carga Acumulada Teórica (CAT), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , que limita a aplicação destas substâncias, bem como estabelece outros critérios de cálculo para a aplicação.

Percebe-se, pela análise da Tabela 6.2 que, tanto a DD-195-E como a Resolução 375, não estabelecem limites de N e P, para a aplicação em solos. A Cetesb, entretanto estipula um limiar (VI) de  $10.000 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de Nitrato (como N), acima do qual existem riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

Entre os contaminantes estudados, todos os valores, com exceção do Cu e do Ni estão abaixo dos valores estabelecidos para o Nível 1 (Conama, 2004). Entretanto, o Cu está abaixo do limiar estabelecido pela Cetesb, para disposição em terra ( $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). O Cu atingiu um teor de  $37,183 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  e o Ni de  $33,033 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a um nível de probabilidade de 0,99. No caso do

Ni, que superou o Nível 1 e o VO da Cetesb, pode-se verificar que os teores em tela são muito inferiores a CM permitida pela Resolução 375 (Conama, 2006) para aplicação de lodo como fertilizante agrícola.

A diferença dos valores de CM e CAT, em relação aos limites estabelecidos pelo Conama e pela Cetesb, são discrepantes. Para todos os contaminantes em estudo, a um nível de probabilidade de 0,99, os limites de CM não foram atingidos. Isto evidencia que a probabilidade dos diversos contaminantes causarem danos ao ambiente ou a saúde humana são mínimas, para disposição em solo.

Contudo, deve-se considerar que a ocorrência de metais pesados e outros contaminantes em solos depende de uma série de fatores vinculados, sobretudo, aos dos processos pedogenéticos e da composição dos elementos de sua fase sólida. Por exemplo, solos originados de rochas básicas, que apresentam teores mais elevados de metais, apresentarão teores mais altos desses elementos, em relação a outros solos oriundos de arenitos, gnaisses, granitos e siltitos. Além do material de origem, outros fatores como o teor e composição da fração argila, proporção de matéria orgânica e condições físico-químicas dos solos podem influenciar sua concentração em metais pesados.

Destarte, uma legislação que não se reporte à condições específicas para cada locação pode limitar ou inviabilizar soluções alternativas de gestão destes resíduos. Nesta perspectiva, para quaisquer projetos de disposição em solo, as características físico-químicas do terreno deverão ser previamente avaliadas.

Tabela 6.2 – Critérios estabelecidos na legislação para disposição de sedimentos dragados e aplicação de lodos provenientes de estações de tratamento e os teores estabelecidos para o limite superior do intervalo de confiança da média (0,99) e o valor da probabilidade acumulada (0,99) de ocorrência dos contaminantes em estudo.

Contaminantes	Resolução 344 (Conama, 2004) Níveis de classificação (mg.kg <sup>-1</sup> )		DD 195-E (Cetesb, 2005) APMax (mg.kg <sup>-1</sup> )		Resolução 375 (Conama, 2006)		Limite Superior do I. C. 0,99 (mg.kg <sup>-1</sup> )	P <sub>0,99</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )
	Nível 1	Nível 2	VP	VI	CM (mg.kg <sup>-1</sup> )	CAT (kg.ha <sup>-1</sup> )		
Arsênio (As)	8,20	70,00	15,00	35,00	41,00	30,00	5,716	8,133
Cromo (Cr)	81,00	370,00	75,00	150,00	1.000,00	154,00	48,145	77,074
Cobre (Cu)	34,00	270,00	60,00	200,00	1.500,00	137,00	28,650	37,183
Chumbo (Pb)	46,70	218,00	72,00	180,00	300,00	41,00	11,161	21,440
Níquel (Ni)	20,90	51,60	30,00	70,00	420,00	74,00	20,042	33,033
Mercurio (Hg)	0,15	0,71	0,50	12,00	17,00	1,20	0,206	0,753
Zinco (Zn)	150,00	410,00	300,00	450,00	2.800,00	445,00	81,542	101,106
Fósforo Total	2.000,00	-	-	-	-	-	7.059,233	10.712,128
Nitrogênio Total	4.800,00	-	-	-	-	-	6.264,670	15.035,736

VP: Valor de Prevenção

VI: Valor de Intervenção

CM: Concentração Máxima

CAT: Carga Acumulada Teórica

#### 6.4 DISPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS DRAGADOS EM SOLOS

Um dos limitantes à aplicação em solos agrícolas é o teor de salinidade contido nos sedimentos. Entretanto, os sais são facilmente lixiviáveis e algumas culturas são tolerantes a certos níveis de salinidade. Goes Filho (2004) destaca que o material dragado oriundo de fundos salinos pode ser utilizado em regiões costeiras e é excelente para o melhoramento de solos, desde que sofram lavagem prévia. A resposta das plantas à salinidade depende de sua idade, das condições ambientais, das práticas de manejo de cultivo e das características da espécie (ASCE, 1990).

O material dragado quando devidamente balanceado em termos de nutrientes não é diferente de nenhum outro tipo de solo agriculturável. A disposição destes materiais em limites adequados pode melhorar as características físico-químicas dos solos, de forma que água e nutrientes tornam-se mais disponíveis ao desenvolvimento das culturas. O material dragado pode ser utilizado de forma semelhante em diferentes culturas agrícolas, na silvicultura e na horticultura. Quaisquer culturas podem ser desenvolvidas em solos dragados corrigidos.

Os melhores tipos de solos destinados a este fim são os siltes arenosos, ou siltes que possam ser misturados com solos arenosos pré-existentes. As argilas são consideradas muito pesadas para serem utilizadas na produção de vegetais, a menos que sejam previamente misturadas com areias (Goes Filho, 2004).

Da análise da Tabela 6.2 percebe-se que apenas os elementos Cr, Hg e Ni superaram, o valor estabelecido para o VP da Cetesb (2005), entretanto ficaram muito abaixo do VI da mesma norma e muito abaixo da CM estabelecida na Resolução 375 (Conama, 2006). Estes resultados apontam para uma possibilidade de disposição em terra sem a necessidade de controles rigorosos e de, até mesmo, aplicação na agricultura e, principalmente, na silvicultura.

Para além da mera disposição dos resíduos dragados e sua possível utilização benéfica acredita-se que, não apenas as metodologias de abordagem dos sítios de interesse, como a perspectiva a partir da qual se observa este campo de estudos deve mudar. Desta

forma, passar-se-ia a entender os processos de dragagem, também como processos de saneamento ambiental. Assim, os processos de dragagem teriam como objetivo precípuo a recuperação das áreas contaminadas de forma a restabelecer seu equilíbrio natural. Isto implicaria em uma nova abordagem dos procedimentos de gestão e dos atos normativos. Ao dragarmos uma área o objetivo não seria apenas a retirada do material sedimentado de forma a restabelecer a morfologia de determinado canal, mas, sobretudo, reduzir ao máximo os níveis de contaminação, até atingir, de preferência, os níveis naturais de ocorrência dos diversos elementos químicos e geoquímicos, dentre outros. Com isto, se proporcionaria ambientes mais adequados ao estabelecimento e desenvolvimento das diversas formas de vida que habitam os ambientes estuarinos da laguna dos Patos.

Por fim, outro fator que emerge das constatações dos programas de monitoramentos das diversas variáveis ambientais é que o conhecimento das fontes de contaminação deve conduzir a um esforço da autoridade portuária, dentro de sua área de competência, de fiscalizar as diferentes emissões das empresas instaladas na sua circunscrição, de modo a que cumpram os limites estabelecidos na legislação. Num sentido mais amplo, articular-se com as diversas instituições de interface com a questão, na consolidação de programas e projetos que reduzam os índices de contaminação dos efluentes lançados no estuário.

## 7. CONCLUSÕES

As series da FURG e da MRS possuem diferenças significativas, entre si. A diferença entre as médias das duas séries resultou significativa ao nível de significância de 5%, para todos os elementos, com exceção do Pb. Com exceção do As e do N-Total, em todos os outros elementos, os resultados obtidos pela FURG foram superiores àqueles verificados pela MRS.

Os níveis Topo, Meio e Fundo são homogêneos. Não existem diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, entre as médias dos três níveis, comparadas duas a duas, para todos os elementos analisados, nas duas séries (FURG e MRS). Destarte, acredita-se que amostras superficiais seriam suficientes para avaliar os níveis de contaminação dos sedimentos a serem dragados.

As distribuições de probabilidades que melhor ajustaram-se aos dados foram a distribuição Beta e a distribuição Normal.

O COT segue, aproximadamente, à distribuição Normal, nas duas séries estudadas. Os dados de As, Pb e Cr, também, seguem aproximadamente, à distribuição Normal, na série da FURG e, para a série da MRS, a distribuição que melhor representou o comportamento destes elementos foi a Beta.

Os elementos Cu, Zn, N-Total e P-Total seguem, aproximadamente, a distribuição Beta, nas duas séries analisadas. Os dados de Ni, da série da MRS, também foram ajustados por esta distribuição, entretanto, para a série da FURG, nenhuma das distribuições estudadas conseguiu ajustes significativos.

Os dados de Hg, na série da FURG, seguem aproximadamente a distribuição Log-Normal.



As probabilidades de ocorrerem valores superiores aos níveis estabelecidos pelo Conama (2004), para cada um dos elementos estudados, foram calculadas a partir das distribuições que melhor ajustaram-se aos dados das séries analisadas.

Todas as observações de Zn e o COT, nas duas séries analisadas, ficaram abaixo do limite estabelecido pelo Conama (2004). Portanto, a probabilidade destes elementos superarem este limiar é nula.

A probabilidade do Cr e do Pb, superarem o limite estabelecido para o Nível 1, da Resolução 344 (Conama, 2004), é inferior a  $P = 0,01$ .

O As, o Cu e o Ni superaram o Nível 1 (Conama, 2004) com probabilidades compreendidas entre  $0,01 \leq P \leq 0,05$ .

O Hg, o N-Total e o P-Total atingiram níveis de ocorrência extremamente elevados, com probabilidades superiores a  $P = 0,450$ .

A partir destas constatações, considera-se a ocorrência dos elementos As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e COT como não significativas ao nível de probabilidade  $\alpha = 0,05$ .

Todos os elementos ficaram abaixo dos limites estabelecidos na legislação em vigor para disposição em solo, comparados com a ocorrência de teores iguais ou inferiores a  $P = 0,99$ .

Quanto à utilização dos sedimentos para uso como fertilizante, verifica-se que, a probabilidade dos elementos estudados causarem danos à saúde pública e ao ambiente natural é não significativa, quando se comparam os teores encontrados ( $P \leq 0,99$ ) aos limites estabelecidos na legislação pertinente.

## 7.1 PERSPECTIVAS DE NOVOS ESTUDOS

- Analisar a dependência entre amostras coletadas para diversos contaminantes. Planejar um experimento com coletas igualmente espaçadas de modo a verificar a interdependência por meio do coeficiente de autocorrelação.
- Analisar a influência dos sedimentos dragados no desenvolvimento de algumas cultivares agrícolas e silviculturais. Planejar experimentos em vasos e de campo, com diferentes tipos de solos e níveis de aplicação do sedimento.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALFREDINI, P., 2005. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1ª ed.. 687 p.
2. ALLOWAY, B. J., AYERS, D. C., 1996. **Chemical principles of environmental pollution**, 2ª Ed. CRC Press. 395 p.
3. ANELLO, L. F. S., 2006. **A educação ambiental e o licenciamento no sistema portuário de Rio Grande.** Brasília: Ibama. 122p.
4. ANTIQUEIRA, J. A. F., 2003. **Evolução geomorfológica de um pontal arenoso na extremidade sul da laguna dos Patos, RS.** Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG. 133p.
5. ARGOLLO, R. M., 2001. **Cronologias de sedimentação recente e de deposição de metais pesados na baía de Todos os Santos usando Pb 210 e Cs 137.** Tese de Doutorado. Salvador: Universidade Federal da Bahia. 104 p.
6. ASCE, 1990. (American Society of Civil Engineers). **Agricultural salinity assessment and management.** New York: ASCE. 619p. (ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice, N.º 71).
7. ASMUS, M. L., 2006. **Relatório Técnico. Avaliação da qualidade dos sedimentos na Área de Influência Direta (AID) da dragagem do porto de Rio Grande, RS: Metais Pesados, Carbono Orgânico, Nutrientes, Granulometria dos Sedimentos, Organoclorados e HPAs.** IN: Processo IBAMA N.º 02023.2079/96. pp. 896-925. (Junho).
8. ASMUS, M. L., TAGLIANI, P. R. A., GRANATO, F. C., BAISCH, P. R., GRIEP, G., FILMANN, G., 2006. **Relatório Executivo: Avaliação da qualidade ambiental do sedimento das áreas do porto de Rio Grande para a**

- dragagem de manutenção (fase pré-dragagem)**. IN: Processo IBAMA N.º 02023.2079/96. pp. 449-509. (Fevereiro).
9. ÁVILA-CAMPOS, M. J., 2008. **Metais pesados e seus efeitos**. Disponível em: [www.mundoquimico.hpg.ig.com.br/metais\\_pesados\\_e\\_seus\\_efeitos.htm](http://www.mundoquimico.hpg.ig.com.br/metais_pesados_e_seus_efeitos.htm). Acesso em: 08 de agosto de 2008.
10. AZEVEDO, H. L., MONKEN, H. R., MELO, V. P., 1986. Study of heavy metal pollution in the tributary rivers of the Jacarepaguá Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil, through sediment analysis. In: **Metal in coastal environments of Latin America**. SEELIGER, U., LACERDA, L. D., PATCHNEELAM, S. R. (Eds.). Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. pp. 21-29.
11. BAISCH, P. R. M., NIENCHESKI, F., 1985. Metais pesados nos sedimentos do estuário da laguna dos Patos. I Seminário sobre Pesquisa da Lagoa dos Patos. v. 1. In: **Anais do ...** Rio Grande: Furg. 15 p.
12. BAISCH, P. R. M., 1997. Geoquímica. In: TAGLIANI, P. R. A., ASMUS, M. L. (Coords.). **Estudo de Impacto Ambiental do Porto de Rio Grande - RS**. v. III. Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). 101p.
13. BAISCH, P. R. M., WASSERMAN, J. C., 1998. Chemistry and distribution of trace elements in the Patos lagoon, South , Brazil. In: **Environmental geochemistry in the tropics: lecture notes in earth sciences**. WASSERMAN, J. C., SILVA-FILHO, V., VILAS-BOAS, R., v.72, Springer: New York, Barcelona, Budapest, Hong-Kong, London, Milan, Singapura, Paris, Tokio, 305p.
14. BAISCH, P. R. M; MIRLEAN, N. F; BENTO, D. M., 2002 *a*. **Caracterização ambiental do sítio de despejo da dragagem de aprofundamento do píer do porto Novo de Rio Grande**. Consultoria; Diagnóstico e Gerenciamento Costeiro – Caracterização Ambiental para fins Identificação de Sítio de Despejo. 4; 12; Irrestrita; SUPRG: Rio Grande.
15. BAISCH, P. R. M., CALLIARI, L. J., MIRLEAN, N. *et all.*, 2002 *b*. Geoquímica dos sedimentos. In: ASMUS, M. L., FREITAS, D. M., ZAMBONI, A. (Coords.). **Monitoramento ambiental da operação de drhgagem do**

- Porto de Rio Grande: Relatório Final – Fase 2.** Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). 180p.
16. BAISCH, P. R. M., MIRLEAN, N. F., GRIEP, P., *et al.*, 2007. Geoquímica. In: **Relatório Anual: Monitoramento ambiental para o canal de acesso ao porto de Rio Grande, bacia de evolução do porto Novo e área de descarte do material dragado.** Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). 203p.
17. BAUMGARTEN, M. G. Z., NIENCHESKI, L. F. H., KUROSHIMA, K. N., 1995. Qualidade das águas estuarinas que margeiam o município do Rio Grande (RS – Brasil): nutrientes e detergente dissolvidos. **Atlântica**, 17, FURG: Rio Grande: 17-34.
18. BAUMGARTEN, M. G. Z., AZNAR, C. E., ROCHA, J. M., ALMEIDA, M. T., KINAS, P. G., 1998. Contaminação química das águas receptoras do principal efluente doméstico da cidade do Rio Grande (RS). **Atlântica**, 20, FURG: Rio Grande: 35-54.
19. BAUMGARTEN, M. G. Z., NIENCHESKI, L. F. H., VEECK, L., 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuariana com aportes de origem antrópica (RS-Brasil). **Atlântica**, 23, FURG: Rio Grande: 101-116.
20. BARBOSA, F. B., WALLNER-KERSANACH, M., BAUMGARTEN, M. G. Z., 2005. **Concentração dos nutrientes em regime de vazante no canal do Rio Grande – estuário da Lagoa dos Patos (RS/Brasil).** Disponível em: [www.ufpel.edu.br/cic/2005/arquivos/ce\\_00908](http://www.ufpel.edu.br/cic/2005/arquivos/ce_00908)
21. BOLDRINI, E. B.; HERRANZ, D. S.; ZONATTO, L. F., ZONATTO, M. J., 2007. Mercado de portos de contêineres e políticas de dragagem. In: **Dragagens Portuárias no Brasil: licenciamento e monitoramento ambiental.** BOLDRINI, E. B., SOARES, C. R., PAULA, E. V. (Orgs.). Governo do Estado do Paraná/SEMAPR/ADEMADAN/UNIBEM. pp. 20 – 31.

22. BONILHA, L. E., ASMUS, M. L., 1994. Modelo ecológico do fitoplâncton e zooplâncton do estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Publ. Acad. Ciências Est.** (S. Paulo) 87 (1): 347-362.
23. BURGUEÑO, L. E. T., TEIXEIRA, L. S., SILVA, J. B., DIAS, C. R. R., 2008. Estudo da ocorrência de contaminantes nos sedimentos de dragagem, dispostos em bacias de sedimentação, no porto de Rio Grande, RS. IN: Seminário e Workshop de Engenharia Oceânica, SEMENGO, III. **Anais do ....**, Rio Grande: Furg, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica.
24. CALLIARI, L. J., 1980. **Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Laguna dos Patos**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 190p.
25. CALLIARI, L. J., FACHIN, S., 1993. Laguna dos Patos. Influência nos depósitos lamíticos costeiros. **Pesquisas**. V. 20, n. 1 p. 57-69, 78p.
26. CAVALCANTE, R. M., 2002. **Estudo da distribuição de mercúrio nos componentes principais do meio ambiente, da zona estuarina da Lagoa dos Patos e áreas adjacentes**. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Brasil, 90p.
27. CETESB, 2005. **Decisão de Diretoria n.º 195-2005-E**, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
28. CONAMA, 2004. **Resolução n.º 344**, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.
29. CONAMA, 2005. **Resolução n.º 357**, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de

- efluentes e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.
30. CONAMA, 2006. **Resolução n.º 375**, de 29 de Agosto de 2006. Define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.
31. COSTA, N. B. D., 2007. **Mercúrio em materiais de aterros e sedimentos na parte urbanizada do Saco da Mangueira (Rio Grande, RS)**. Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG. 133p.
32. DIAS, C. R. R., VITOLA, M. A., 1995. The effect jetties construction on the dynamics of Rio Grande port bar. In: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, IV. **Proceedings of the COPEDEC IV**. V.2, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 1613-1627.
33. DIXON, W. J., MASSEY JR., F. J., 1969. **Introduction to statistical analysis**. 3 ed. MacGraw-Hill, Inc. 638 p.
34. ESTEVES, F. A., 1998. **Fundamentos de limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.602p.
35. FERNANDES, L. D. F., 2001. **Transportes de poluentes em estuários**. Monografia de Graduação. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 54p.
36. FERNANDES, E. H., 1997. **Modelagem do transporte de elementos particulados e dissolvidos entre a região estuarina da Lagoa dos Patos e o oceano Atlântico**. Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG. 150p.
37. FERNANDES, E. H., DYER K.; MOLLER, O. & NIENCHESKI, L. F, 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**, vol. 22, p. 1699-1713.
38. FILMANN, G., BAISCH, P. R., ASMUS, M. L., 2006 (a). **Relatório Técnico: Avaliação da qualidade dos sedimentos na área de influência direta (AID)**

- da dragagem e descarte do Porto de Rio Grande, RS: Metais HPAs e Organoclorados (trechos VI, V e IV).** IN: Processo IBAMA N.º 02023.2079/96. pp. 745-771. (Abril)
39. FILMANN, G., BAISCH, P. R., ASMUS, M. L., 2006 (b). **Relatório Técnico: Avaliação da qualidade dos sedimentos na área de influência direta (AID) da dragagem e descarte do porto de Rio Grande, RS: Metais HPAs e Organoclorados (Setores 6 e 5).** IN: Processo IBAMA N.º 02023.2079/96. pp. 775-814. (Março)
40. FILMANN, G., BAISCH, P. R., ASMUS, M. L., 2006 (c). **Relatório Técnico: Avaliação da qualidade dos sedimentos na área de influência direta (AID) da dragagem e descarte do porto de Rio Grande, RS: Metais, HPAs e Organoclorados (Setores 6 e 5).** IN: Processo IBAMA N.º 02023.2079/96. pp. 815-876. (Abril).
41. FONTOURA, J. A.S., CALLIARI, L. J., 2007 (a). **Diagnóstico do estudo da dinâmica sedimentar e do comportamento da linha de costa no local de implantação das obras do Dique Seco e nas margens de seu entorno.** Primeiro Relatório. Rio Grande: Laboratório de Engenharia Costeira/Laboratório de Oceanografia Geológica. 28p.
42. FONTOURA, J. A.S., CALLIARI, L. J., 2007 (b). **Diagnóstico do estudo da dinâmica sedimentar e do comportamento da linha de costa no local de implantação das obras do Dique Seco e nas margens de seu entorno.** Segundo Relatório. Rio Grande: Laboratório de Engenharia Costeira/Laboratório de Oceanografia Geológica. 23p.
43. FÖRSTNER, U., WITTMAN, G. T. W., 1979. **Metal pollution in the aquatic environment**, Berlin: Springer-Verlag.
44. FRANÇA, R. G., 1998. **Metais pesados nos sedimentos do sul da Lagoa dos Patos: identificação do melhor normalizante geoquímico.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica. Rio Grande: FURG, 98p.



45. GAGNON, C., FISHER, N. S., 1997. Bioavailability of sediment-bound methyl and inorganic mercury to a marine bivalve. **Environmental Science Technology**, 31. p. 993-998.
46. GARCIA, C. A. E., 1997. O ambiente e a biota do estuário da Lagoa dos Patos. Características hidrográficas. IN: **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**. SEELIGER, U., ODEBRECHT, C., CASTELLO, J. P. (Eds) Rio Grande: Ecoscientia, 341p.
47. GIBBS, R. J., 1983. Effect of Natural Organic Coatings on the Coagulation of Particles. **Environmental Science & Technology**, v. 17, n. 4, pp. 237-240.
48. GOES FILHO, H. A., 2004. **Dragagem e gestão dos sedimentos**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 174p.
49. GOLDBERG, E. D., KOYDE, M., HODGE, V., FLEGAL, A. R., MARTIN, J., 1983. U.S. Mussel Watch 1977-1978: Results on trace metals and radio nuclides. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, 16. pp. 69-83.
50. GRANATO, 2005. **Subsídios técnicos para o estabelecimento de um plano de gerenciamento ambiental integrado do processo de dragagem do porto de Rio Grande – RS**. Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG, 138p.
51. HAAN, C. T., 1979. **Statistical methods in hydrology**. The Iowa State University Press. 378p.
52. HARTMANN, C., SILVA, O. F, 1989. Dinâmica sazonal da pluma de sedimentos na desembocadura da Laguna dos Patos, analisada através de imagens Landsat. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, 4. Natal, RN, INPE.
53. HARTMANN, C. 1996. **Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 363p.
54. HARTMANN, 1998. O estuário da Laguna dos Patos e sua classificação de acordo com a literatura mundial sobre os ambientes transicionais. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 11. **Resumos da XI Semana Nacional**

- de Oceanografia:** Oceanografia e suas interfaces. Pelotas: Universitária/UFPel. pp. 460-462.
55. HARTMANN, 1998 (a). Aspectos e importância da ressuspensão do material de fundo na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 11. **Resumos da XI Semana Nacional de Oceanografia:** Oceanografia e suas interfaces. Pelotas: Universitária/UFPel. pp. 427-429.
56. HARTMANN, C., CALLIARI, L. J., MÖLLER, O. O., 1990. Material em suspensão no estuário da laguna dos Patos (RS). Fase I – Observações preliminares – Abril/1979 a Março/1980. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, 2 (4): 73-95.
57. HERZ, R., 1977. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos**. Tese de Doutorado. São Paulo: USP, 722 p.
58. INÁCIO, M. M., PEREIRA, V., PINTO, M. S., 1998. Mercury contamination in sandy soils surrounding an industrial emission source (Estarreja, Portugal). **Geoderma**, 85. pp. 325-339.
59. ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M., 1989. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press, New York.
60. KJERFVE, B., 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. IN: **Estuarine variability**. D. A. Wolfe (ed.): Academic Press, New York, pp 63-81.
61. KRAUSE, P. R., MACDONNELL, K. A., 2000. **The beneficial reuse of dredged material for upland disposal**. Novato, CA: Harding Lawson Associates, 24p.
62. LONG, T., 1989. **Le quaternaire littoral du Rio Grande do Sul. Temoin des quatre derniers episodés eustatiques majeurs. Géologie et évolution**. Tese de Doutorado. França, Universidade de Bordeaux I, 196p.
63. MANUGISTICS INC., 1992. **Statgraphics**, Version 6.0 (SGPlus), Statistical Graphics System Corporation

64. MARCOVECCHIO, J. E., 2000. Overview on land-based sources and activities affecting the marine, coastal and associated freshwater environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean. **UNEP Regional Seas Reports and Studies**. N. 170, UNEP/GPA coordination Office, The Hague. 78 p.
65. MARTINS, R. V., FREIRE, G. S. S., MAIA, L. P., LIMA, J. P. R., LACERDA, L. D., 2002. Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. **In: South American basins: LOICZ Global change assessment and synthesis of river catchment – Coastal sea interaction and human dimensions**. LACERDA L. D., KREMER, H. H., KJERFVE. B., SALOMONS. W., MARSHALL-CROSSLAND, J. I., CROSSLAND, J. C. (eds.). LOICZ Reports and Studies, 21. pp. 92-98.
66. MIRLEAN, N., BARAJ, B., NIENCHESKI, L. F., BAISCH, P., ROBISON, D. 2001. The effect of accidental sulphuric acid leaking on metal distributions in estuarine sediments of Patos lagoon. **Marine Pollution Bulletin** 42 (11), 1114-1117.
67. MIRLEAN, N., ANDRUS, V. E., BAISH, P. 2003. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin** 46, 331-334.
68. MÖLLER, O. O., CASTAING, P., SALOMON, J. C., LAZURE, P., 2001. The influence of local and non local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. **Estuaries**, vol. 24, pp. 275 – 289.
69. MÖLLER, O. O., CASTAING, P., 1999. Hydrographical characteristics of the estuarine area of Patos Lagoon. **IN: Estuaries of South America: Their geomorphology and dynamics**. Perillo, G., Picollo, C. e Pino, M., (eds), Springer Verlag,. pp. 83-100.
70. MÖLLER JR., O. O. 1996. **Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil): mesures et modélisation**. Tese de Doutorado. França, Universidade de Bordeaux 1, 204p.

71. MRS, 2007. (MRS – Estudos Ambientais Ltda.). Dragagem de aprofundamento do canal de acesso ao Porto de Rio Grande. **Estudo de Impacto Ambiental**. 6 volumes.
72. NIENCHESKI, L. F. H., 2000. Recursos do mar e poluição. **R. CEJ**. Brasília, n. 12, pp. 58-62.
73. NIENCHESKI, L. F. H., BAUMGARTEN, M. G. Z., 1998. O ambiente e a Biota do estuário da Lagoa dos Patos: Química Ambiental. IN: **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**. SEELIGER, U., ODEBRECHT, C., CASTELLO, J. P. (Eds.) Rio Grande: Ecoscientia, 341p.
74. NIENCHESKI, L. F. H., WINDOM, H. L., 1994. Nutrient flux and budget in Patos Lagoon Estuary. **Sci. Total Environ.** 149 (1-2): 53-60.
75. NIENCHESKI, L. F. H., WINDOM, H. L., SMITH, R. 1994. Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon estuary (Brazil). **Marine Pollution Bulletin**. 28 (2): 96-102.
76. OLIN-ESTES, T. J., 2000. Determining recovery potential of dredged material for beneficial use – Site characterization: Statistical approach. **DOER Technical notes collections** (ERDC TN-DOER-C15). US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
77. OLIN-ESTES, T. J., PALERMO, M. R., 2000. Determining recovery potential of dredged material for beneficial use – Site characterization: Perspective approach. **DOER Technical Notes Collection**, (ERDC TN-DOER-C14). US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
78. SEELIGER, U., COSTA, C. S. B., 1998. Impactos naturais e humanos. IN: **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**. SEELIGER, U., ODEBRECHT, C., CASTELLO, J. P. (Eds.) Rio Grande: Ecoscientia, 341p.
79. SOUZA, S. R., 2002. **Caracterização morfo-sedimentar do Saco do Arraial, extremo sul da laguna dos Patos, RS**. Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG. 165p.
80. STATSOFT INC., 2004. **Statistica**, Versão 7.0, Data Analysis Software System. ([www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)).

81. STURGIS, T. C., LEE, C. R., 1999. Manufactured soil screening test. **DOER Technical Notes Collection** (TN DOER-C6), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
82. SUPRG, 2008. Superintendência do Porto de Rio Grande. Disponível em: [www.portoriogrande.com.br](http://www.portoriogrande.com.br)
83. TEIXEIRA, L. S., DIAS, C. R. R., 2008. Estudo das propriedades químicas dos rejeitos de dragagem para utilização como solo fabricado para fins agrícolas. IN: Seminário e Workshop de Engenharia Oceânica, SEMENGO, III, **Anais do ....**, Rio Grande: FURG, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica.
84. TOLDO JR., E.E. 1991. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 18(1): 58-63.
85. TOLDO JR., E. E., DILLENBURG, S. R., 2000. Swash bar migration at the inlet of the Patos Lagoon, Brazil. **Journal of Coastal Research** (ICS 2000 Proceedings). p. 489-492.
86. TORRES, R. J., 2000. **Uma análise preliminar dos processos de dragagem do porto de Rio Grande, RS**. Dissertação de Mestrado. Rio Grande: FURG, 179p.
87. WONNACOTT, R. J., WONNACOTT, T. H., 1980. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 589 p.
88. VAZ, A. C., MÖLLER JUNIOR, O., ALMEIDA, T. L., 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**. Rio Grande, 28 (1): 13-23.