

Estudo da ocorrência de contaminantes nos sedimentos de dragagem, dispostos em bacias de sedimentação, no Porto de Rio Grande, RS.

Luis E. T. Burgueño¹, Laurita dos S. Teixeira², João B. da Silva³, Cláudio R. R. Dias⁴

¹ *Mestrando do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS – eduardo.burgueno@gmail.com*

² *Mestrando do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS – teks@mikrus.com.br*

³ *Departamento de Matemática e Estatística – UFPEL, Pelotas, RS – jbs39@terra.com.br*

⁴ *Departamento de materiais de Construção – FURG, Rio Grande, RS – claudio@dmc.furg.br*

RESUMO: O presente artigo estima as probabilidades de ocorrência de alguns contaminantes, em sedimentos dragados na área do Porto Novo de Rio Grande, RS. Os dados são oriundos da análise dos sedimentos lamíticos depositados em duas bacias de contenção, oriundos da operação de dragagem desenvolvida entre os meses de abril e maio de 2001. Foram coletadas 17 amostras e as concentrações (mg.kg^{-1}) e traços de metais nos sedimentos foram analisados por meio de um Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA). Foram estudados os seguintes elementos: As, Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni e Zn. Os dados foram sumarizados e ajustados a diferentes distribuições de probabilidade. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). As distribuições que melhor ajustaram os dados foram as distribuições Beta, Weibull e Log-normal.

PALAVRAS-CHAVE: dragagem, contaminantes, probabilidades.

ABSTRACT: The present work analyses quantitatively the occurrence of metal contaminants in dredged sediments that were dredged at Porto Novo, in Rio Grande, RS. The data were obtained from analyses of mud sediments disposed in two confined environment. The sediment dredging took place between April and May of 2001. The collected sediment samples were taken to the laboratory for characterization and chemical analyses by Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The following metal elements were studied: As, Cd, Pb, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni and Zn. The quantitative data were summarized and fit to several probability distribution models. The significance of fitting to these probability distribution models was then measured by the Kolmogorov-Smirnov Test. The distribution models that give the best fits are Beta, Weibull and Log-normal.

KEYWORDS: dredge, contaminants, probabilities

1. INTRODUÇÃO

O Porto de Rio Grande está localizado na desembocadura na zona estuarina da laguna dos Patos, no município de Rio Grande, RS. Em função da sua configuração morfológica e das condicionantes meteorológicas o extremo sul da Laguna apresenta um comportamento

hidrodinâmico extremamente variável. O canal da desembocadura lagunar apresenta um estreitamento, profundidade média de 14 metros e largura aproximada de 1 km, terminando com dois molhes de aproximadamente 4 km de extensão.

Inserida na bacia hidrográfica do litoral, à qual drena uma área aproximada de 160.000 km², a laguna dos Patos sofre, historicamente, assoreamento em diversos pontos do canal que a liga ao mar. Segundo [1] do total de sedimentos que são descarregados na laguna apenas 25% atingem a região estuarina, cerca de 1.200.000 toneladas anualmente.

Nos últimos 15 anos foram removidos, segundo [8] cerca de 24,5 milhões de metros cúbicos de sedimentos. Relata ainda que, 83% do volume total dragado provem do canal de acesso ao Porto Novo. Os 17% restantes foram depositados no interior do estuário e caracterizavam-se pela predominância de finos. A maior parte do material remobilizado apresentou características granulométricas de areia muito fina com silte.

Os custos das operações de dragagem no canal de acesso ao Porto de Rio Grande em agosto de 1988, com a utilização de uma draga auto-transportadora, tiveram de acordo com a proximidade com o local de despejo, valores diferenciados, os quais são apresentados na Quadro 1 [10].

Quadro 1 – Custos das operações de dragagens em diferentes áreas no Porto de Rio Grande.

Área do Porto	Volume Dragado (m³)	Custo (US\$/m²)	Custo Total (US\$)
<i>Canal de acesso</i>	2.300.000	1,44	3.750.000,00
<i>Canal de acesso à bacia do Porto Novo</i>	265.000	1,97	220.000,00
<i>Bacia do Porto Novo</i>	375.000	1,87	430.000,00

Na última dragagem realizada no Porto de Rio Grande, no período de junho de 2003 a setembro de 2004 [6] foram removidos do canal de acesso cerca de 2.930.000 metros cúbicos de sedimentos. Esta autora relata ainda que a dragagem planejada para outubro de 2005 previa a remoção do canal de acesso (Superporto e Porto Novo) de cerca de 2,5 milhões de metros cúbicos, a um custo total de cerca de R\$ 20 milhões.

A próxima dragagem prevê o aprofundamento do canal de acesso ao porto organizado para 60 pés, possibilitará a recepção de navios de grande calado, aumentando a competitividade do Porto de Rio Grande, em âmbito regional. Segundo [9], será removido um volume aproximado de 16.000.000 m³ de sedimentos. Por outro lado, dragagens de manutenção mais freqüentes serão necessárias, de forma a garantir a profundidade de projeto.

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 [6] da praia do Cassino e comporta duas áreas contíguas de descarte de todo o material retirado durante as dragagens de manutenção [9].

Uma das poucas exceções desta prática foi a dragagem da área do Porto Novo, em 2001, cujos sedimentos lamíticos foram separados e depositados em duas bacias de sedimentação especialmente projetadas. Nesta operação de dragagem foram removidos cerca de 29.000 m³ de sedimentos e depositados em duas bacias de contenção próximas ao Terminal de Containeres (TECON). O projeto e construção das bacias contou com o financiamento da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e da Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), com aporte de recursos em torno de R\$ 170.000.

Embora não fosse objeto principal de seu estudo [8], analisou alguns elementos metálicos nos sedimentos depositados nas referidas bacias. Esta autora coletou três amostras cujos

resultados médios, estão apresentados na Tabela 1. Comparou seus resultados com valores de referência mundiais e, apenas o Cobre (Cu) estava abaixo dos limites estabelecidos. Por outro lado, para uma das amostras de Mercúrio (Hg) encontrou um valor de $0,26 \text{ mg.kg}^{-1}$, superior ao valor de referência.

Tabela 1 – Comparação entre os valores obtidos por [8] e teores mundiais apresentados em Griep *et al.* [2003, *apud* 8]

	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Zinco (Zn)
Kerstner	13,00	31,00	55,67	0,15	86,00
Teores Mundiais	19	18	72	0,19	95

Diante dos grandes volumes dragados e dos altos custos envolvidos e na perspectiva de dragagens de manutenção mais frequentes, necessita-se desenvolver alternativas de disposição destes rejeitos, bem com avaliar possíveis usos benéficos. Neste sentido, a construção de estruturas que possam comportar e processar os sedimentos dragados para diferentes finalidades abrirão espaço, não só para a minimização dos impactos da disposição em águas costeiras, como também a formação de recursos humanos e o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e o uso benéfico dos sedimentos.

Com o objetivo de analisar com mais profundidade os índices de contaminação do material oriundo das bacias de sedimentação, estudadas por [8], a luz da atual normatização brasileira para disposição de resíduos, foi conduzido este estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta e análise dos sedimentos

Foram coletadas um total de 17 amostras de sedimento depositado nas bacias de sedimentação. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, congeladas no Laboratório de Hidroquímica, da FURG. As amostras de sedimento foram secas em um liofilizador, marca Edwards, modelo Micro Modulyo. A Liofilização é um dos métodos mais utilizados na secagem de sedimentos, devido ao baixo risco de perda de componentes voláteis e ainda por fornecer um material desagregado, praticamente na forma de pó e não fortes agregados argilosos, por exemplo.

Os metais são classificados em *elementos essenciais* (sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio); *micro-contaminantes ambientais* (arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, 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. Neste trabalho adotar-se-á o conjunto dos elementos analisados a designação de substâncias inorgânicas, ou simplesmente contaminantes. Desta forma foram escolhidos os seguintes elementos: Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn).

Para determinar as concentrações (mg.kg^{-1}) e traços de metais nos sedimentos, as amostras foram dissolvidas com ácido hidrofúorídrico (HF) em combinações com ácidos concentrados oxidantes tais como água régia ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$). Essa decomposição tem algumas vantagens, pois o HF é o único ácido que dissolve completamente as matrizes silicosas e libera todos os metais associados, tais como Al, Fe e Li, utilizados para normalização, como a do tamanho do grão por exemplo. Os procedimentos para as análises de metais nos sedimentos estão descritos detalhadamente em [11].

Os metais Cr, Cd, Cu e Pb foram analisados por meio de um Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA) com vaporização eletrotérmica (forno de grafite), marca Zeiss,

modelo AAS-5. O Zn e o Ni foram analisados em um EAA, marca CG, modelo AA 7000 BC/ABC, com chama.

2.2. Análise estatística e modelagem probabilística

Para cada uma das substâncias propostas, foram ajustadas distribuições de probabilidade que melhor representem estas variáveis. Os dados foram ajustados às seguintes distribuições de probabilidades: Beta, Gama, Log-normal, Normal e Weibull. O ajuste de cada distribuição foi avaliado por meio do teste de kolmogorov-Smirnov (K-S).

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 a teoria dos valores extremos. Segundo [7], três tipos de distribuições assintóticas 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 este estudo, os dados amostrais foram ajustados as seguintes distribuições teóricas: Beta, Gama, Log-normal, Normal e Weibull. Para modelagem a partir da distribuição Beta, os dados foram reduzidos a valores entre zero e um.

Posteriormente foram construídas tabelas de probabilidades para os níveis de 1 a 99%, para as distribuições que melhor se ajustaram aos dados observados. As análises foram desenvolvidas com o auxílio do pacote estatístico STATIGRAPHICS. Os resultados obtidos foram comparados com os níveis estabelecidos pelo CONAMA [3] e pela CETESB [2].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise exploratória dos dados são apresentados na Tabela 2. Pode-se perceber a partir destes resultados que, as substâncias inorgânicas analisadas encontram-se, em sua maioria, dentro dos limites exigidos pela legislação em vigor.

Dentre todos os contaminantes analisados apenas o Arsênio e o Mercúrio não foram detectados pelo EAA. Entretanto [6], em estudos efetuados pré e pós-dragagem no canal do Porto de Rio Grande, verificou que os teores mínimos de arsênio, em locais fora da região de dragagem (ponto de controle), ocorriam na ordem de $4,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, o que evidenciaria uma ocorrência natural deste elemento no estuário. Na área do Superporto, os valores médios foram de $6,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ ($\pm 6,78$) e um valor máximo de $19,5 \text{ mg.kg}^{-1}$. Para os índices de Hg, a autora obteve para o ponto de controle teores da ordem de $0,0253 \text{ (mg.kg}^{-1})$ e um teor médio de $0,0350$, com desvio padrão de $0,0240 \text{ mg.kg}^{-1}$ para os outros locais analisados.

Em geral os valores da média e mediana foram muito próximos, evidenciando a boa representatividade do primeiro. Os valores da mediana, com exceção do Zn, foram pouco superiores aos da média denotando uma assimetria dos dados, à esquerda.

O Coeficiente de Variação (CV) é um bom indicador da consistência dos dados analisados. É considerado baixo (indicando um conjunto de dados razoavelmente homogêneo) quando for

menor ou igual a 25%. Entretanto, esse padrão varia de acordo com a aplicação. Martins & Donaire [1979, *apud* 8] consideram que, para efeitos práticos costuma-se considerar que um CV superior a 50% indica um alto grau de dispersão e conseqüentemente uma pequena representatividade da média. Para valores inferiores a 50%, a média será tanto mais representativa do fato, quanto menor for o CV.

Para este estudo, em geral os CVs apresentaram-se entre baixos (<25%), para os elementos Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn. Apenas o Cd apresentou um CV superior a 25%, contudo ainda inferior a 50%, conforme pode-se verificar na Tabela 2. Dentre contaminantes analisados, considera-se de maior confiabilidade aqueles que obtiveram um CV, inferior a 10% (Pb, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn). Esta consideração leva em conta apenas um maior rigor aplicado à escolha das substâncias que obtiveram uma análise química mais precisa.

Diferente do que encontrou [8], o resultado obtido para o Cobre, não superaram os valores estabelecidos para o Nível I [3]. Por outro lado o Ni, no presente estudo, superou os limites estabelecidos nesta norma. Isto, em parte denota, a pouca representatividade das amostras obtidas, bem como, a grande variabilidade da distribuição destes metais no sedimento.

A Tabela 3 apresenta os valores da diferença absoluta máxima (DN), entre a distribuição teórica e empírica acumuladas, para o teste de K-S e o nível de ajuste aos dados observados (p), para todas as distribuições testadas. As distribuições e os índices de forma e escala (α e β), para as distribuições que melhor ajustaram-se aos dados, foram as seguintes:

- Distribuição Beta: Cd (0,595758, 1,01586), Pb (0,960025, 1,15558), Fe (0,98112, 0,544602) e Ni (1,18609, 0,545995);
- Distribuição de Weibull: Cu (6,18028, 21,4747), Cr (20,2329, 65,9617) e Mg (26,0204, 504,09);
- Distribuição Log-normal: Zn e os valores correspondentes a média e desvio padrão, estão apresentados na Tabela 2.

Os níveis de probabilidade para os diversos elementos em estudo são apresentados na Tabela 4. Ao comparar estes valores àqueles obtidos por [8], verifica-se que os valores médios obtidos por esta autora (Tabela 1) para os elementos Cr e Zn, estão dentro das probabilidades calculadas. Por outro lado, o Pb e o Cu, ficaram, respectivamente, abaixo e acima dos níveis de probabilidades específicos para estes elementos, obtidos a partir das amostras coletadas neste estudo.

Na tabela 5 são apresentados os critérios estabelecidos pela legislação em vigor para disposição de sedimentos em terra e em águas costeiras. São apresentados os valores limites da Resolução 344 [3] e Resolução 375 [5], bem como da Decisão de Diretoria 195-E [2].

Em [3] são estabelecidos os limites de contaminação aceitáveis e estabelece dois níveis, em função da classificação das águas do corpo hídrico. Portanto na Tabela 5 apresenta-se os valores dos Níveis 1 e 2, conforme a classificação dada pelo artigo 2º da Resolução 357 [4]. Por esta Resolução as características das águas da área de origem do material dragado, estas são classificadas como salobra (na porção estuarina) e salina (na porção externa).

Os critérios de qualidade apresentados em [3], 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 [3], o Conama remete-se a [3]. Nesta norma estadual constam os valores de prevenção (VP) e valores de interferência (VI) para solo e água subterrânea, 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. 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 aqueles estabelecidos de exposição agrícola – Área de Proteção Máxima (APMax).

Tabela 2 – Análise exploratória dos dados, para as diversas substâncias inorgânicas estudadas.

Elementos Metálicos	Mínimo	1° Quartil	Média	Mediana	3° Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Coef. Variação
Cádmio (Cd)	0,01	0,015	0,02	0,02	0,03	0,04	0,010	43,95
Chumbo (Pb)	18,27	18,74	19,67	19,84	20,30	21,35	0,87	4,42
Cobre (Cu)	11,03	18,92	19,90	20,3	22,49	25,82	4,20	21,10
Cromo (Cr)	55,10	62,17	64,20	65,85	66,11	69,86	4,11	6,41
Ferro (Fe)	1.243,82	1.287,16	1.310,51	1.321,82	1.336,04	1.347,52	31,26	2,39
Manganês (Mn)	433,07	479,33	493,48	501,04	510,81	530,55	24,45	4,95
Níquel (Ni)	15,62	20,25	20,83	21,34	22,34	23,23	2,14	10,27
Zinco (Zn)	66,26	71,77	75,26	75,01	78,76	87,93	5,12	6,81

Tabela 3 – Valores de DN do teste K-S e dos níveis de ajuste (*P*) das diferentes distribuições ajustadas.

Distribuições										
Elementos Metálicos	Beta		Gama		Log-Normal		Normal		Weibull	
	<i>K-S</i>	<i>p</i>	<i>K-S</i>	<i>p</i>	<i>K-S</i>	<i>p</i>	<i>K-S</i>	<i>p</i>	<i>K-S</i>	<i>p</i>
Cádmio (Cd)	0,170	0,703	0,252	0,230	0,249	0,242	0,297	0,098	0,281	0,135
	9	7	1	2	1	0	7	3	5	2
Chumbo (Pb)	0,107	0,985	-	-	0,152	0,823	0,151	0,831	0,128	0,941
	1	1			7	1	3	2	6	2
Cobre (Cu)	0,160	0,772	0,205	0,470	0,223	0,365	0,172	0,691	0,131	0,930
	6	9	4	2	1	7	7	1	6	0
Cromo (Cr)	0,219	0,387	-	-	0,217	0,399	0,209	0,443	0,165	0,738
	2	7			1	7	7	3	7	9
Ferro (Fe)	0,136	0,908	-	-	0,206	0,463	0,205	0,467	-	-
	8	2			4	9	9	0		
Manganês (Mn)	0,139	0,893	-	-	0,087	0,799	0,085	0,833	0,113	0,910
	8	8			9	2	1	8	2	8
Níquel (Ni)	0,211	0,435	0,291	0,110	0,293	0,106	0,279	0,139	0,227	0,344
	0	7	9	5	5	8	8	5	1	6
Zinco (Zn)	0,169	0,712	-	-	0,136	0,909	0,141	0,884	0,184	0,608
	5	8			6	0	7	3	6	1

p: probabilidade de DN

Tabela 4 – Probabilidades acumuladas (mg.kg^{-1}) para as diferentes substâncias inorgânicas nos níveis de probabilidade de 1 a 99%.

P(X<=x)	Distribuições Ajustadas							
	Beta				Weibull			Log-normal
	Cd	Pb	Fe	Ni	Cu	Cr	Mn	Zn
0,990	0,04	21,29	1347,50	23,23	27,49	71,14	534,58	87,82
0,950	0,04	21,11	1347,09	23,20	25,65	69,64	525,80	83,89
0,900	0,03	20,91	1345,97	23,14	24,58	68,74	520,51	81,86
0,850	0,03	20,73	1344,26	23,04	23,82	68,08	516,65	80,52
0,800	0,03	20,56	1342,00	22,90	23,19	67,53	513,40	79,47
0,750	0,03	20,39	1339,21	22,74	22,64	67,04	510,46	78,58
0,700	0,03	20,23	1335,91	22,54	22,13	66,57	507,70	77,79
0,650	0,02	20,07	1332,11	22,31	21,64	66,12	505,04	77,07
0,600	0,02	19,92	1327,84	22,05	21,17	65,68	502,40	76,39
0,550	0,02	19,76	1323,11	21,75	20,71	65,23	499,75	75,73
0,500	0,02	19,62	1317,92	21,43	20,24	64,78	497,04	75,10
0,450	0,02	19,47	1312,29	21,07	19,76	64,31	494,22	74,46
0,400	0,02	19,33	1306,22	20,68	19,26	63,81	491,25	73,83
0,350	0,02	19,18	1299,73	20,25	19,76	63,27	488,04	73,17
0,300	0,01	19,05	1292,83	19,79	18,18	62,69	484,51	72,49
0,250	0,01	18,91	1285,53	19,28	17,55	62,02	480,52	71,76
0,200	0,01	18,77	1277,84	18,72	16,85	61,25	475,85	70,96
0,150	0,01	18,64	1269,79	18,11	16,01	60,30	470,09	70,04
0,100	0,01	18,51	1261,38	17,43	14,92	59,02	462,32	68,89
0,050	0,01	18,39	1252,67	16,66	13,28	56,96	449,71	67,23
0,010	0,01	18,29	1245,56	15,89	10,20	52,54	422,40	64,21

Por analogia, apresentam-se, na Tabela 5, os limites estabelecidos pela Resolução 375 [5] que estabelece os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto e seus produtos derivados, gerado em estações de tratamento. Nesta Resolução são apresentadas as quantidades máximas de aplicação (CM) e a carga acumulada teórica (CAT), permitidas para disposição de determinadas substâncias inorgânicas em solo. Estes valores referem-se às concentrações máximas permitidas no lodo de esgoto ou produto derivado, destinados à aplicações como fertilizante agrícola.

Esta Resolução estabelece três critérios para disposição de resíduos provenientes de estações de tratamento de efluentes como fertilizante agrícola. No primeiro critério a taxa de aplicação do lodo é limitada pelo quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para cada cultura e o teor de nitrogênio disponível no lodo ou produto derivado. O segundo critério é relacionado à elevação do pH do solo, limitado ao valor de pH igual a sete. Por fim estabelece cargas teóricas permitidas (CM e CAT) destas substâncias pela aplicação do lodo ou produto derivado.

Apresenta-se, também, na referida tabela, os valores máximos encontrados, para cada substância inorgânica em estudo.

Tabela 5 – Comparação entre os valores estabelecidos pelo Conama e pela Cetesb e os valores máximos obtidos nas análises das amostras estudadas.

Metais (ppm)	Conama 344 (2004) Níveis de classificação (mg.kg ⁻¹)		Cetesb 195 (2005) APMax (mg.kg ⁻¹)		Conama 375 (2006)		Valores Máximos
	Nível 1	Nível 2	VP	VI	CM	CAT	
					(mg.kg ⁻¹)	(kg.ha ⁻¹)	
Cádmio (Cd)	1,2	9,6	1,3	3,0	39	4	0,04
Cromo (Cr)	81,0	370,0	75	150	1000	154	69,86
Cobre (Cu)	34,0	270,0	60	200	1500	137	25,82
Chumbo (Pb)	46,7	218,0	72	180	300	41	21,35
Níquel (Ni)	20,9	51,6	30	70	420	74	23,23
Zinco (Zn)	150,0	410,0	300	450	2800	445	87,93
Ferro (Fe)	-	-	-	300 ¹	-	-	1.347,52
Manganês (Mn)	-	-	-	400 ¹	-	-	530,55

¹ Valor de Intervenção (VI) para águas subterrâneas (µg.L⁻¹).

Percebe-se, pela análise da Tabela 5 que, todos os valores, com exceção do Ni (23,23 mg.kg⁻¹) estão abaixo dos valores estabelecidos para o Nível 1 (20,90 mg.kg⁻¹) do Resolução 344, contudo ficou muito abaixo do valor estabelecido para o Nível 2. Na Tabela 4, pode-se verificar que a probabilidade de ocorrerem valores de Ni, superiores ao limite estabelecido para o Nível 1 é de 57,25%.

Por outro lado, para disposição em terra de sedimentos dragados, esta resolução², remete aos valores orientadores estabelecidos pela CETESB [2]. Em comparação com o parâmetro VP (30 mg.kg⁻¹) percebe-se que o valor encontrado é muito inferior ao limite de prevenção estabelecido pela Cetesb e três vezes menor que o limite de intervenção (VI).

Os valores encontrados para o Fe e Mn superaram de forma muito expressiva os limites de intervenção (VI) estabelecidos pela DD 195-E, tendo em vista os prováveis efeitos deletérios às águas subterrâneas. Ressalta-se o fato que estes elementos obtiveram índices de CV inferiores a 5%.

Por outro lado, fazendo-se uma comparação entre as normas apresentadas, percebe-se que para muitos dos elementos limitados pela Resolução 344 e pela DD 195-E, são ultrapassados pela Resolução 375 [5].

A diferença dos valores de CM e CAT em relação aos limites estabelecidos pelo Conama e pela Cetesb, são discrepantes. Para os valores médios encontrados no presente estudo, ter-se-ia como limitante o Chumbo (Pb), com uma aplicação de 2.084 toneladas por hectare.

Contudo há ainda que se considerar que a ocorrência de metais pesados 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

² A Resolução 344 [3] refere-se à edição publicada pela Cetesb, em 26 de outubro de 2001, entretanto os Valores Orientadores da Cetesb foram revistos e reeditados em 2005.

legislação que não se reporte às condições específicas para cada locação pode limitar ou inviabilizar soluções alternativas de gestão destes resíduos.

4. CONCLUSÕES

Foram ajustadas distribuições de probabilidades aos dados observados. As distribuições que melhor representaram os elementos em análise foram a Beta (Cd, Pb, Fe e Ni); Weibull (Cu, Cr e Mg) Log-normal (Zn).

Dentre os elementos analisados apenas o Ni ultrapassou o Nível 1, para águas salobra-salinas, estabelecido pela Resolução 344 (Conama, 2004). A probabilidade de ocorrerem valores superiores ao normatizado ($20,9 \text{ mg.kg}^{-1}$) é de 57,25%.

Quando comparado a outras normas (DD 195-E e Resolução 375) que tratam da disposição em terra, os valores obtidos neste trabalho para todas os elementos analisados são inferiores aos limites estabelecidos.

O Fe e o Mn, ultrapassaram os limites do Valor de Intervenção, estabelecido pela Cetesb, para águas subterrâneas.

Estudos que visem determinar a capacidade suporte dos solos regionais, de forma a poder-se dispor estes resíduos em terra, são indispensáveis.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAISCH, P. *Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire do Patos, flux et devenir (Bresil)*. Bordeaux, 1994. Tese (Doutorado). Universidade de Bordeaux.
2. CETESB. *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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. GRANATO, F.C.. *Subsídios técnicos para o estabelecimento de um Plano de Gerenciamento Ambiental Integrado do processo de dragagem do Porto de Rio Grande – RS*. Rio Grande, 2005. Tese (Mestrado). FURG/Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica.
7. HAAN, C.T. *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press: 1979.
8. KERSTNER, V. W. T. *Avaliação do comportamento geotécnico e geoquímico de rejeitos de dragagem do Porto Novo de Rio Grande/RS*. Rio Grande: 2003. Tese (Mestrado). FURG/Departamento de Pós-graduação em Engenharia Oceânica.

9. MRS. *Estudo de Impacto Ambiental. Dragagem de aprofundamento do Canal de acesso ao porto de Rio Grande.* 2007
10. TORRES, R.J. *Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS.* Rio Grande: 2000. Tese (Mestrado). FURG/Departamento de Pós-graduação em Engenharia Oceânica.
11. UNEP. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended matter. Reference Methods for Marine Pollution Studies. v.63, 1995.