

Estudo das propriedades químicas dos rejeitos de dragagem para utilização como solo fabricado para fins agrícolas

Laurita dos Santos Teixeira¹; Cláudio Renato Rodrigues Dias²

1 – Mestranda em Engenharia Oceânica – FURG – Rio Grande – RS (texs@mikrus.com.br);

2 – Orientador – Professor Titular do Departamento de Materiais e Construção – FURG – Rio Grande – RS (claudio@dmc.furg.br).

RESUMO: A dragagem pode ser considerada como o ato de retirada de material do leito dos corpos de água, para o aprofundamento e alargamento de canais e outras obras. A pesquisa com material dragado é feita devido ao potencial econômico do rejeito gerado e ao problema ambiental gerado por ele. A caracterização do material dragado para uso como fertilizante é feita pela determinação de matéria orgânica, pH, salinidade, N, P, K, Ca, Mg, metais pesados e CTC. Foram feitas análises químicas para a determinação de contaminantes na lama e análise de fertilidade do solo para o estudo da sua utilização. O resíduo estudado foi depositado em bacias de sedimentação em 2001, onde em 2006 mostrou um grande desenvolvimento de vegetação na área que a lama foi depositada, indicando o potencial do resíduo, que poderá ser comprovado pelas análises.

PALAVRAS-CHAVE: Dragagem, rejeitos, solo fabricado.

ABSTRACT: Dredging may be considered as an act of removing material from the bottom of water bodies, for the deepening and enlarging of channels and other buildings. The study with dredged material is made due to the economical potential of the reject and to the environmental problem caused by it. The characterization of the dredged material to be used as fertilizer is accomplished through the determination of organic matter, ph, salinity, N, P, K, Ca, Mg, heavy metals and CTC. Chemical analysis were carried out for determination of contaminants in the mud and fertility analyses of the soil for studying its utilization. The studied residue was deposited in sedimentation basins in 2001. In 2006 these areas, where the mud was deposited, showed a great development of vegetation, indicating the potential of the residue, which can be proved through the analyses.

KEYWORDS: Dredging, rejects, improved soil.

1. INTRODUÇÃO

A dragagem pode ser considerada como o ato de retirada de material do leito dos corpos d'água com uma finalidade específica, através de equipamentos denominados “draga”, a qual é, geralmente, uma embarcação ou plataforma flutuante equipada com mecanismos necessários para se efetuar a remoção do solo. Os principais objetivos da dragagem são o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías; a construção de diques e preparar fundações para pontes e outras estruturas.

A atividade de dragagem é enquadrada como uma atividade potencialmente poluidora. Diante deste fato se faz necessário o licenciamento ambiental baseado em estudos ambientais.

Diante da necessidade de subsidiar e harmonizar a atuação dos órgãos ambientais, em nível nacional, no que se refere ao processo de licenciamento ambiental das atividades de dragagem, o CONAMA estabelece as diretrizes gerais à avaliação do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em áreas jurisdicionais brasileiras pela resolução 344/2004 [17].

Na Europa, os pioneiros na construção de canais foram os italianos, porém os franceses prezam pela quantidade e extensão de seus canais. Atualmente, os holandeses são os que mais investem em tecnologia para a construção de canais para a drenagem de seu território.

A utilização certa do solo com a finalidade de se obter as maiores colheitas, sem entretanto prejudicar a sua fertilidade deverá ser a máxima preocupação da agricultura. Entende-se por solo, sob o ponto de vista agrícola, a camada superficial da crosta terrestre em que se apóiam e se nutrem as plantas. Esta camada é constituída por fragmentos e partículas de rocha em diferentes fases de divisão e decomposição, de mistura com água e substâncias químicas dissolvidas na água, ar, organismos vivos e, por último, matéria orgânica resultante da decomposição de animais e vegetais em diferentes fases de decomposição.

A proporção em que estes materiais entram na constituição do solo varia bastante, sendo uma função especialmente da rocha-mãe, do clima em que se formou, da topografia e dos tratamentos e usos que lhe vem sendo dados.

Os solos da região do Rio Grande possuem uma característica arenosa, sendo necessário o uso de fertilizantes ou aditivos para corrigir as suas deficiências. Existem algumas propostas para o aumento da produtividade dos solos da região. Devido à grande quantidade de material dragado e a freqüente necessidade de dragagens na região, uma proposta é a utilização dessa lama para correção dos solos.

Este trabalho tem por objetivo analisar o material dragado e determinar suas propriedades e a possibilidade do seu uso como fertilizante.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dragagens em Rio Grande

A dragagem freqüente torna-se um problema para a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), que tem a responsabilidade de dar condições de operacionalidade ao Porto do Rio Grande e aos demais portos da Laguna dos Patos.

Em março de 2008, iniciou a dragagem de manutenção do calado de 31 pés junto ao cais do Porto Novo do Rio Grande. A retirada de sedimentos possui autorização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), visto que a atual Licença de Operação do Porto do Rio Grande já inclui a dragagem de manutenção.

Para a execução dos serviços foram utilizados os equipamentos do parque de dragagem da Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). Foi utilizada uma draga de alcatruzes, própria para atuar junto a linha de cais, sendo dragado a 20 metros da murada do cais.

Com o objetivo de aprofundar o canal de acesso ao Porto do Rio Grande, possibilitando assim a passagem de navios de maior porte, em maio de 2001 foi iniciada a ampliação dos Molhes da Barra. Em dezembro de 2002 as obras foram paralisadas, após a execução de 25% do seu avanço físico, devido a intervenções do Tribunal de Contas da União (TCU) e do Ministério Público Federal de Rio Grande (MPF), culminando com o vencimento em julho de 2004 da Licença de instalação emitida pelo IBAMA. Em janeiro de 2007 as obras foram retomadas em caráter emergencial devido ao iminente risco à navegação causado pela movimentação das pedras já lançadas. Em junho de 2008 foram iniciadas as obras de prolongamento dos molhes da Barra [18].

Os motivos que levaram a pesquisa com a dragagem:

a) A dragagem gera um rejeito, que tem potencial econômico se aproveitado de forma adequada, conforme pode ser visto em países desenvolvidos.

b) A dragagem gera um problema ambiental que tem dois extremos: o processo de dragagem em si, e o processo de deposição do material em sítios, em especial, se estes sítios forem em condições submersas, o que tem acontecido nestes últimos anos na área portuária de Rio Grande e plataforma continental adjacente.

Para se reunir informações necessárias a um projeto de dragagem e despejo de material dragado, necessita-se:

a) Analisar o local de dragagem e a quantidade a ser dragada, bem como seu futuro uso.

b) Determinar as características físicas e químicas dos sedimentos. As características do material dragado determinam o projeto de dragagem, e até certo ponto, as exigências de despejo.

c) Avaliar a possibilidade de depósitos alternativos: as maiores considerações na escolha de alternativas de despejo são os impactos ambientais e econômicos da operação de despejo.

d) Avaliar as exigências do projeto de dragagem [13].

Sabe-se que a contínua deposição de sedimentos sobre um determinado local cria um efeito de “shoaling” (diminuição da profundidade) com a formação de bancos de areia. Porém, no local de despejo das dragagens realizadas no porto do Rio Grande, não se tem conhecimento da batimetria do sítio de despejo, nem de seu comportamento.

Um estudo realizado em 1972 pelo Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais, em conjunto com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal Rio Grande do Sul, Bandeira [2] mostrou o ativo comportamento hidráulico da região através de radioisótopos adicionados ao sedimento, servindo como um mecanismo traçador. Através da retirada de sedimentos do Canal do Porto Novo e sua caracterização radioativa, este experimento teve por finalidade verificar o comportamento deste sedimento caso ele fosse lançado na Coroa de Dona Mariana (em frente ao Superporto, porção final do Canal de Rio Grande), verificando se ele voltaria ou não à região de origem. Concluiu-se que o material se movimenta rapidamente para fora do local de despejo ocorrendo grande espalhamento em direção à desembocadura do canal. Observou-se, também, que em épocas de fluxo mais intenso, o material que cai no canal se movimenta rapidamente, sendo recolocado em suspensão.

2.2. Objetivos da Dragagem

O processo de dragagem apresenta-se dividido em dois grupos que são a dragagem inicial na qual é formado o canal artificial com a retirada de material virgem, e as dragagens de manutenção, para a retirada de material sedimentar depositado recentemente, com a finalidade de manter a profundidade do canal propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos em portos e marinas [3].

Um terceiro tipo de dragagem em fase de implantação em muitas partes do mundo é a “dragagem ambiental”, a qual procura remover uma camada superficial de sedimento contaminado por compostos orgânicos e inorgânicos, sem que haja a ressuspensão destes contaminantes.

2.3. Tipos de Dragas

Existem diversos tipos de draga utilizados comumente neste tipo de operação, as quais são classificadas em mecânica, hidráulica e mista (mecânica/hidráulica), sendo que cada uma destas possui diferentes tipos de mecanismo e operação. A Tabela 1 mostra os principais tipos de dragas e suas respectivas categorias [3].

Tabela 1 – Principais tipos de dragas e a categoria na qual está incluída.

Categoria	Tipo
Mecânica (Mechanical)	Dragas de alcatruzes (bucket dredge)
	Dragas de caçambas (grab dredge)
	Dragas escavadeiras (dipper dredge)
Hidráulica (Hydraulic)	Dragas de sucção (suction dredge)
	Dragas de sucção com desagregadores (cutter suction dredge)
	Dragas auto-transportadoras (trailing hopper dredge)

As dragas mecânicas são utilizadas para a remoção de cascalho, areia e sedimentos muito coesivos, como argila, turfa, e silte altamente consolidado. Estas dragas removem sedimentos de fundo através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material, independente de sua densidade. Os principais tipos de dragas mecânicas são as escavadeiras flutuantes (tais como as de caçamba e as de garras) e as dragas de alcatruzes (também conhecidas por “bucket ladder”, estas dragas dispõem de uma corrente sem fim com caçambas que trazem o material de fundo até uma esteira montada em uma lança que eleva e projeta o material dragado a certa distância, ou o despeja em outra embarcação). Os sedimentos escavados com a utilização de dragas mecânicas são geralmente transportados em barcas ou barcaças, dependendo do volume a ser transportado. Na Figura 1, podemos ver uma foto de uma draga de Alcatruzes no Porto do Rio Grande.



Figura 1 - Draga de Alcatruzes operando no Porto do Rio Grande

Nos Estados Unidos, as dragas hidráulicas respondem por aproximadamente 95% das atividades de dragagem. Estas dragas são mais adequadas para a remoção de areia e silte pouco consolidado, removendo e transportando o sedimento na forma líquida. São em geral bombas centrífugas, acionadas por motores a diesel ou elétricos, montadas sobre barcas e que descarregam o material dragado através de tubulações que variam de 0,15 m a 1,2 m de diâmetro, mantidas sobre a água através de flutuadores. A bomba produz vácuo na entrada da tubulação e a pressão força água e sedimento através da tubulação. Estas dragas não podem operar com material que contenha grandes pedras [15].

As dragas hidráulicas ao aspirar o sedimento, trazem junto uma grande quantidade de água. Conforme os tanques das barcaças e de dragas auto-transportadoras vão se enchendo, é

necessário eliminar esta água excedente fazendo-a transbordar para fora da embarcação. Este processo chama-se “overflow”.

2.4. Dragagem Ambiental

A dragagem ambiental é um processo muito diferente da dragagem de manutenção, assim como os equipamentos utilizados em ambos os casos. Enquanto a dragagem de manutenção tem como principal meta manter, satisfatoriamente, as profundidades de portos, rios e canais propiciando a navegação, a dragagem ambiental visa a retirada de uma determinada quantidade de sedimentos contaminados.

Na dragagem de manutenção ocorre a retirada de forma rápida de uma grande quantidade de material sedimentar, sendo que muitas vezes não se é dada a devida importância ao manejo do material dragado. Por outro lado, na dragagem ambiental existem procedimentos rigorosos aplicados tanto à operação de dragagem, quanto ao transporte e manejo deste material, assim como de sua disposição.

O tipo de draga utilizado na dragagem ambiental é uma draga hidráulica especialmente adaptada, desenvolvida no Japão e na Holanda, e que pode retirar sedimentos finos contaminados com um mínimo de ressuspensão. As principais adaptações para este tipo de draga são, a utilização de escudos e telas (cortina de silte) ao redor do sítio de dragagem, operação da draga em velocidades reduzidas e o processo de “overflow” deve ser evitado, mantendo a mistura água/sedimento na cisterna da embarcação.

A dragagem ambiental, para que seja considerada eficaz, deve cumprir os seguintes objetivos:

- ✓ Minimizar a dispersão de sedimentos contaminados para as áreas adjacentes ao sítio de dragagem. Isto é possível diminuindo o processo de ressuspensão e redeposição, evitando a fuga de material dragado através de eventuais furos na tubulação da draga e evitando a prática do “overflow”;
- ✓ O manejo, tratamento e despejo (disposição) dos rejeitos de dragagem (tanto água quanto sedimento) devem ser feitos de maneira segura no aspecto ambiental e de forma aceitável no aspecto social;
- ✓ A operação deve ser completada no menor tempo possível, obtendo a máxima remoção de sedimentos contaminados e a mínima remoção de água e sedimentos limpos.

2.5. Uso do Material de Dragagem

Construção de aterros para recuperação de áreas é talvez o uso mais conhecido do material de dragagem. No passado, se o material não fosse necessário para aterro, era geralmente lançado ao mar. Como resultado da crescente poluição do ambiente marinho, o uso para o material dragado, e principalmente, a maneira de sua deposição, têm tornado-se imprescindíveis.

Normas nacionais e acordos internacionais regulamentando a disposição de rejeitos de dragagem têm sido elaborados mais extensivamente, e um dos efeitos disto tem sido o estímulo, e em alguns casos o empenho para que os engenheiros oceânicos encontrem uso para os materiais dragados, que normalmente são considerados sem valor.

2.6. Impactos Ambientais da Dragagem (Diretos e Indiretos)

Os impactos ambientais associados ao processo de dragagem e despejo do material dragado podem ser caracterizados por apresentarem efeitos diretos sobre habitats e organismos, ou indiretos, atribuídos a alterações na qualidade da água. Distúrbios físicos, associados à remoção e realocação de sedimentos, provocam a destruição de habitats bentônicos, aumentando a mortalidade destes organismos através de ferimentos causados por

ação mecânica durante a dragagem, ou por asfixia conforme estes são sugados pela draga. Quanto ao efeito indireto, a ressuspensão do sedimento de fundo remobiliza contaminantes e nutrientes afetando a qualidade da água e a química global do estuário.

2.7. Erosão do solo agrícola

Todos os solos do planeta estão submetidos a erosão geológica ou natural, devido a ação dos agentes externos com sol, água, animais, vegetais entre outros, que, agindo sobre a rocha provocam a formação do solo. Esta ação serve como niveladora da crosta terrestre e como renovadora da natureza. O tempo necessário para dar origem a um solo agrícola é muito grande; em geral, este é formado em etapas, por milhares de anos.

A atuação do homem, favorecendo o desgaste do solo pela retirada da camada protetora, permite um trabalho intenso da água da chuva que arrasta a capa de solo agrícola; a essa ação da água carregando a manta superficial da terra é que se denomina erosão.

Assim, a erosão do solo é então o arrastamento das partículas de solo com todos os elementos nutritivos. O deslocamento e transporte de partículas de solo, matéria orgânica, elementos químicos, colocando estes em lugar onde dificilmente serão utilizados.

A capa superior de terra é denominada de solo agrícola; que é a parte fértil. E os elementos formadores do solo são os minerais, matéria orgânica, ar e água. É nesta camada superficial onde o homem cultiva os alimentos necessários à sua vida e de seus semelhantes. Abaixo desta, fica outra camada, denominada subsolo, onde os elementos úteis às plantas estão ainda em forma bruta, de modo que as raízes das plantas não podem retirar os nutrientes de que necessitam [21].

2.7.1. Tipo de solo x Efeito econômico

É sabido que em solos arenosos a erosão provoca perdas maiores de terra do que em solos argilosos. Quanto mais areia grossa tiver um solo, tanto maiores serão as perdas. Quanto à perda de água, os solos arenosos por serem mais permeáveis, perdem menos água que os solos argilosos nos quais a infiltração da água é mais lenta.

Em consequência da perda de solo, surge o empobrecimento do mesmo, o que resulta em baixas produções. Resultados experimentais teriam demonstrado que a perda de 15cm de solo corresponde a um decréscimo de 40% da produção.

Com a perda de solo pela erosão, há também a perda da matéria orgânica, do calcário, do adubo além das sementes [21].

2.7.2. Preparo e manejo do solo

A época e o modo de preparar o solo vão exercer uma influência considerável sobre a produção da cultura a ser implantada. O método a ser empregado no preparo do solo fica na dependência do tipo de solo, do tipo de rotação de cultura, da quantidade de resto de cultura e ervas daninhas e de outros fatores que irão variar de uma propriedade a outra.

O manejo de solos é um conjunto de práticas que são adotadas obedecendo às condições físicas, químicas, biológicas e climáticas do solo, de modo a obter o maior rendimento possível das culturas.

2.8. Adubação

A adubação é o processo mais delicado de melhoramento dos solos cultivados. Isso porque nem sempre se tem uma noção perfeita do que seja adubar, quanto às exigências do solo e da cultura, como a qualidade e quantidade dos adubos a empregar. Daí resultar a derrocada financeira e econômica da adubação quando praticada sem critérios.

A manutenção e restauração sistemática da fertilidade do solo por meio de um plano racional de adubações deverão fazer parte de qualquer programa de atividade agrícola. Com efeito somente dessa forma conseguir-se-á contrabalançar o declínio de fertilidade do solo, resultante da retirada normal de elementos nutritivos pelas colheitas.

Os adubos ou fertilizantes minerais, simples ou compostos, solúveis ou insolúveis, são geralmente classificados dentro de três grupos: adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos. Existem ainda outras fórmulas contendo outros elementos e até corretivos do solo, porém os três grupos acima são os mais comuns [6].

3. PROPRIEDADES DO SEDIMENTO

Um material dragado fino, ao ser lançado numa bacia de contenção no estado de lama fluida, começará a sedimentar e após a adensar sob o peso próprio das partículas. A presença da grande quantidade de água e íons nela dissolvidos provoca certos fenômenos físico-químicos que poderão explicar o comportamento futuro do solo formado. Assim poderá se explicar a floculação ou defloculação das partículas de solo a ser formado:

✓ Cada partícula argilosa do solo possui carga elétrica negativa na sua superfície e atrai íons para a mesma para neutralizar a carga elétrica total.

✓ Por sua vez, estes íons atraem moléculas de água da argila diretamente para a superfície da partícula. Todas as partículas estão envolvidas por partículas de água.

✓ Entre as partículas de argila atuam forças de atração e repulsão. Têm influência sobre a forma com que se ordenam as partículas e o processo de sedimentação e dão lugar a que os solos finos apresentem esqueleto mineral muito aberto, de pequeno peso específico (estrutura floculada).

✓ Certos fatores, como a temperatura e a concentração de íons na água, influem sobre as forças de atração e repulsão entre as partículas, então o meio onde se processa a sedimentação tem influencia sobre a forma em que se dispõem as partículas ao depositar-se.

3.1. Análise Geoquímica do Solo

Os principais grupos de contaminantes encontrados em materiais dragados são: as partículas sólidas, os contaminantes orgânicos, orgânicos sintéticos, inorgânicos, biológicos, radionuclídeos e os metais.

3.1.1. Matéria Orgânica

Entende-se por matéria orgânica do solo os resíduos de plantas e animais depositados sobre ele ou entranhados em sua estrutura de mistura com os microrganismos que deles se alimentam. Representa um dos principais fatores de produtividade.

A matéria orgânica desempenha um papel de suma importância do ponto de vista químico, físico e biológico. O conhecimento de seus teores é fundamental em diversas áreas da Ciência do Solo. Com esses teores conhecidos é possível examinar os níveis de contaminação nos sedimentos por ela atingidos.

A qualificação da matéria orgânica do solo pode ser feita a partir da determinação, em laboratório, do conteúdo de carbono orgânico do solo. A fórmula geralmente utilizada é:

$$\text{m.o. (g.kg}^{-1}\text{)} = 1,724.C,$$

onde C é o conteúdo de carbono orgânico do solo [7].

O teor de carbono orgânico será medido pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, usando como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal.

3.1.2. Metais

Os metais destacam-se por estarem presentes em grande parte das fontes de contaminação. Os metais são componentes naturais dos sistemas ambientais, tais como: rochas, solos, sedimentos, água e organismos. Os principais indicadores entre eles são: mercúrio, cádmio, cromo, níquel, zinco, chumbo, cobre, ferro, manganês, etc.

A caracterização química deve determinar as concentrações de poluentes no sedimento, na fração total. O detalhamento se dará de acordo com as fontes de poluição pré-existentes na área do empreendimento e será determinado pelo órgão ambiental competente, de acordo com os níveis de classificação do material a ser dragado.

3.1.3. CTC (Capacidade de Troca Catiônica)

A troca catiônica entende-se como a reação de troca entre quantidades equivalentes de cátions adsorvidos nas partículas coloidais de solo, e cátions em solução na água do solo. Há também fenômenos de troca entre os primeiros e cátions de raízes das plantas ou cátions de outras partículas. Os cátions de troca quantitativamente mais importantes no solo são: cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. A designação de bases de troca do solo usa-se apenas em relação a cálcio, magnésio, potássio e sódio. O alumínio não se considera dentro da mesma designação pois tem comportamento bastante diferente quanto à influência na reação do solo

As reações de troca catiônica em um solo são importantes porque elas alteram as propriedades físicas do solo. Algumas trocas são permanentes, enquanto que outras dependem do pH. Cátions trocáveis (íons carregados positivamente) são atraídos pelas superfícies carregadas negativamente e substituí os cátions nos pontos de troca nas superfícies da partícula. A CTC é dependente do pH e diretamente proporcional a concentração de argila, conteúdo de matéria orgânica e sua granulometria.

3.2. Análises Químicas

3.2.1. pH

O pH do solo será medido em solução com água (H₂O), KCl, e CaCl₂. Ele será medido eletronicamente por meio de eletrodo combinado, através de um pHmetro.

Os solos se diferenciam bastante quanto ao grau de acidez que apresentam. Quando a acidez do solo é além de certo limite prejudica o desenvolvimento das plantas cultivadas, diminuindo a produção. Nos solos ácidos, o desenvolvimento de organismos úteis fica bastante prejudicado, especialmente das bactérias fixadoras de nitrogênio do ar. A correção da acidez se faz geralmente pela aplicação de cálcio ao solo, na operação que se costuma chamar de calagem.

Com o efeito contrário ao da calagem, ou seja, de tornar os solos alcalinos mais ácidos, costuma-se empregar o sulfato de alumínio, o enxofre em pó muito fino e o sulfato de amônio [6].

3.2.2. Nitrogênio Total

O nitrogênio é o principal agente do crescimento das plantas. Havendo quantidades suficientes deste elemento no solo as plantas crescem satisfatoriamente. A maior parte do nitrogênio a planta absorve nas primeiras fases da sua vida e armazena nos tecidos de crescimento [6].

O nitrogênio está praticamente ligado à matéria orgânica. Neste método o N é convertido em sulfato de amônio através de oxidação. Os métodos utilizados para a determinação de N são: Kjeldahl por câmara de difusão ou Kjeldahl por destilação a vapor.

3.2.3. Outros elementos

O cálcio e o magnésio solúveis serão determinados por espectrometria de absorção atômica (AAS) e o sódio e potássio pelo fotômetro de chama nos extratos diluídos. Interferências nas determinações pelo AAS são eliminadas pela adição de lantânio. O fósforo será determinado pelo método colorimétrico.

Os metais pesados, como Zn, Cu, Mn, Cd e Pb serão determinados pelo método de espectrofotometria de absorção atômica.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Em 2001, foi construída uma bacia de sedimentação de rejeitos de dragagem na área do Porto de Rio Grande – RS, com o objetivo de possibilitar a realização de estudos geoquímicos da água e da lama, avaliando a possibilidade de contaminação de lençóis freáticos, e estudos geotécnicos para obtenção de parâmetros em Laboratório e *in situ*, para avaliar a possibilidade de uso do material em projetos de aterros, na construção de ilhas artificiais ou mesmo na manutenção de zonas de banhados ou mangues [13].

Para comparação dos resultados amostrados em 2001, foram retiradas amostras em 2006 do mesmo local, em diferentes pontos da bacia de sedimentação, e então será analisado o potencial deste material para uso na agricultura, como fertilizante, e comparado às concentrações e teores analisados no então projeto, com os valores atuais. As Figuras 2 e 3 abaixo mostram as bacias em implantação em 2001 e a situação das bacias em 2006.



Figura 2 – Bacias de sedimentação com a lama.



Figura 3 – Lagoa leste em 2001 (esquerda) e 2006 (direita)

4.1. Amostras

O material sedimentar analisado foi retirado das bacias de sedimentação feitas em 2001, para o estudo geotécnico e geoquímico dos rejeitos de dragagem do Porto Novo por Kerstner [13]. Foram retiradas amostras da bacia leste, em três pontos, próximos à passarela, em março de 2006.

A bacia leste tinha seu fundo revestido por lona plástica, por isso a lama manteve a sua umidade. Na bacia oeste a lama estava completamente seca. A bacia leste apresentava aproximadamente 30cm de lama seca e o restante se manteve úmido. A profundidade de solo na bacia foi de 92cm.

As amostras analisadas foram retiradas em tubos tipo Shelby, sendo os tubos 1 e 3 de inox e os tubos 2, 4, 5 e 6 de PVC. Após as amostras foram armazenadas em câmara úmida. Também foram retiradas algumas amostras em baldes e sacolas, nos mesmos pontos, mas estas não foram analisadas.

Após, as amostras foram retiradas dos tubos Shelby em um extrator de amostras indeformáveis, cortadas em fatias com um fio fino metálico, separadas em sacos plásticos e codificadas conforme sua profundidade, para posteriormente serem feitas as análises químicas. As amostras foram retiradas dos tubos Shelby e cortadas conforme a Figura 5.

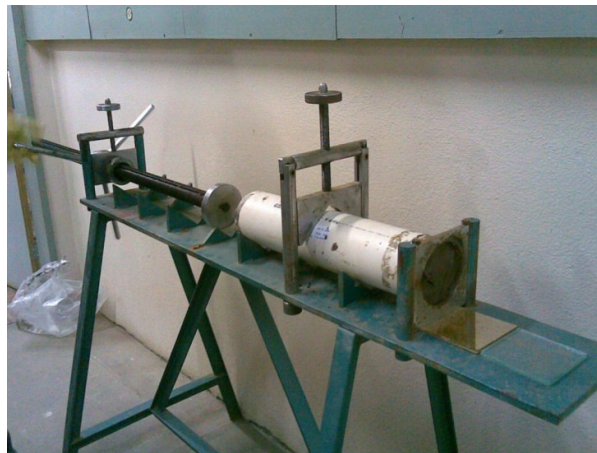


Figura 5 – Tubo Shelby, retirando a amostra. Extrator de amostras indeformáveis.

4.2. Processamento da amostra e análise de metais

4.2.1 Lavagem do material usado para a marcha analítica

Todo o material e vidraria foi lavado com detergente, enxaguado com água corrente em abundância e lavados após com água destilada. Todo material ficou em um banho com ácido nítrico 20%, por no mínimo 24 horas e, posteriormente, lavado com bastante água destilada. Este procedimento repetiu-se sempre após cada análise.

4.2.2. Secagem da amostra

As amostras de sedimento foram secas antes de serem conduzidas as análises químicas, tendo em vista que as medições analíticas são expressas com base em peso seco. A retirada da água pode introduzir mudanças físicas e químicas na composição original do material sedimentar. Muitas das mudanças estão relacionadas com as trocas de oxidação / redução e afetam a proporção de metais fracamente adsorvidos aos sedimentos e ocasionam mudança nas associações originais entre os metais e os vários componentes sedimentários. Entretanto, a concentração de metais nos sedimentos são relativamente elevadas e essas alterações são praticamente insignificantes em relação a outros erros que inevitavelmente ocorrem na determinação dos metais traços em sua forma total. Esses erros podem e devem ser minimizados, através do procedimento de coleta cauteloso, estocagem, transporte e manipulação do material.

4.2.3. Análise dos metais pesados (níquel, cromo, cobre, zinco, chumbo e cádmio).

4.2.3.1. Digestão da amostra

Os procedimentos para as análises de metais nos sedimentos são os descritos pela UNEP [25], em colaboração com o Marine Environmental Studies Laboratory de Mônaco, para material sedimentar.

Para determinar as concentrações de metais maiores e traço em sedimentos, sejam marinhos ou estuarinos, por métodos químicos úmidos, é necessário dissolver toda amostra. Para a decomposição total utiliza-se o ácido hidrófluorídrico (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.

Descrição das etapas:

- ✓ (1) Pesou-se cerca de 0,5 g de cada amostra seca e colocou-se em um béquer de teflon, próprios para digestão,
- ✓ (2) Adicionou-se 3 mL de HNO_3 e colocou-se em chapa quente tampado por cerca de uma hora a uma temperatura de 150 °C.
- ✓ (3) Adicionou-se 5 mL de uma mistura ácida HF-HClO₄- HNO_3 (2:2:3 v/v), sendo novamente colocado tampado na chapa à 150 °C por 4 horas.
- ✓ (4) Abrir as tampas e limpá-las com água destilada, voltando para a chapa à 200 °C para evaporar até quase a secura.
- ✓ (5) Colocou-se 2 mL de HNO_3 e 2 mL de água destilada, deixando por alguns minutos na chapa.
- ✓ (6) Esta solução foi transferida para um balão volumétrico e aferida a 25 mL, sendo que o béquer foi lavado no mínimo três vezes com água destilada antes de ser aferido o volume, garantindo assim que todo o material digerido estivesse no balão.

✓ (7) O balão foi bem agitado e a solução foi então transferida para um frasco de estocagem, até o momento da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

4.2.3.2. Leitura da amostra

Os metais cromo, cádmio, cobre e chumbo foram analisados em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica com vaporização eletrotérmica (forno de grafite) marca Zeiss, modelo AAS- 5. O zinco e níquel foram analisados em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica da marca CG, modelo AA 7000 BC/ABC, com chama.

4.2.4. Análise de Mercúrio

O método utilizado para determinação de mercúrio nas amostras foi o método apresentado por Varian. Este método é usado para sedimentos e emprega mineralização por via úmida usando combinação de ácido nítrico e hidrolórico. As concentrações superior e inferior limites são de 50 e 0,1µg/mL em solução, respectivamente, se nenhuma outra diluição for feita. Analisam-se amostras com concentrações superiores a este limite, após feita a diluição. A amostra é seca e homogeneizada. Pesa-se e transfere-se 0,5g de sedimento e material de referência para erlenmeyers de 125mL. Usam-se frascos sem amostras como branco. Adiciona-se a solução ácida na proporção de três partes de ácido nítrico para uma de ácido hidrolórico. Permanece-se em temperatura ambiente em capela com exaustão por aproximadamente 20 minutos ou até que os fumos excessivos parem. Coloca-se em chapa quente ajustada para manter a temperatura de 150°C. Aquecem-se os frascos por aproximadamente 30 minutos ou até que os frascos contendo as soluções de branco fiquem sem cor. Conserva-se a solução mineralizada pela adição de solução de dicromato de potássio, diluída a um volume conhecido com água deionizada [27].

4.3. Métodos para análise de fertilidade do solo

4.3.1. Teor de argila

A determinação do teor de argila do solo é feita pelo método do densímetro, após dispersão com álcali, sendo expressa em % (m/v). Essa determinação é necessária para estabelecer a classe textural e a interpretação do teor de fósforo extraído pelo método de Mehlich-1. Na análise usam-se 10cm³ de solo.

4.3.2. pH do solo

É determinado por potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção 1:1. Na análise usam-se 10cm³ de solo e 10mL de água.

4.3.3. Necessidade de calcário

É determinada pelo método SMP. O método baseia-se no uso de uma solução tamponada a pH 7,5. Como forma de medida da acidez potencial do solo, determina-se o pH de equilíbrio desta solução quando em contato com o solo, denominado índice SMP. O pH de equilíbrio da mistura solo:solução SMP é relacionado à quantidade de calcário necessária para a correção da acidez do solo. O índice pode ser utilizado para indicar as quantidades de calcário necessárias para elevar o pH do solo a 5,5, 6,0 ou 6,5. Na análise, utiliza-se a mesma amostra da determinação do pH em água.

4.3.4. Acidez potencial (H+Al)

É estimada pelo índice SMP, sendo seu valor obtido pela equação:

$$H + Al = \frac{e^{(10,665 - 1,14935MP)}}{10}$$

O valor é expresso em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

4.3.5. Fósforo extraível pelo método Mehlich-1

É a fração extraída por uma solução composta pela mistura de ácido clorídrico (0,05 mol/L) e ácido sulfúrico (0,0125 mol/L), conhecida como solução de Mehlich-1. O teor obtido representa o P na solução, o P adsorvido na superfície de óxidos e hidróxidos de Fe e de Al e, em menor quantidade, o P ligado ao Ca. A determinação é feita por colorimetria, empregando molibdato de amônio e uma solução redutora. Os teores são expressos em mg/dm^3 . Na análise usam-se 3 cm^3 de solo.

4.3.6. Potássio extraível

É a quantidade composta pelo potássio da solução do solo e o K adsorvido às cargas negativas do solo (K trocável). Utiliza-se também o extrator de Mehlich-1. O teor de potássio no extrato é determinado por fotometria de chama. A quantidade extraída é semelhante ao teor de potássio trocável, extraído com acetato de amônio. O teor é expresso em mg/dm^3 . Neste extrato pode ser também determinado o sódio trocável, por fotometria de chama. Na análise utiliza-se a mesma amostra da determinação de fósforo.

4.3.7. Matéria orgânica

É determinada por combustão úmida, utilizando-se dicromato de sódio e ácido sulfúrico. A matéria orgânica é oxidada e o dicromato é reduzido, ocorrendo modificação na cor da solução, que é proporcional ao teor de matéria orgânica do solo. A determinação da intensidade da cor da solução é feita por colorimetria. Com base no teor de matéria orgânica, avalia-se, indiretamente, a disponibilidade de nitrogênio do solo. Os valores são expressos em % (m/v). Na análise, usam-se 1,5 cm^3 de solo.

4.3.8. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

São extraídos por cloreto de potássio 1 mol/L. Numa fração do extrato, o alumínio é titulado com hidróxido de sódio, na presença de azul de bromotimol (ou fenolftaleína). Em outra fração, o cálcio e o magnésio são determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Alguns laboratórios determinam os teores de Ca e Mg por titulação com EDTA. Neste caso, primeiro é feita a titulação de Ca + Mg e, depois a do Ca, calculando-se o teor de Mg por diferença. Os teores são expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Na análise usam-se 2,5 cm^3 de solo.

4.3.9. Capacidade de troca de cátions (CTC)

É calculada pela soma dos cátions de reação básica trocáveis (K^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; e às vezes Na^+) e dos cátions ácidos (H^+ + Al^{3+}). Para o cálculo da CTC ao pH natural do solo (na análise), denominada CTC efetiva, é somado o cátion Al^{3+} aos cátions da reação básica:

$$CTC_{\text{efetiva}} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+}$$

A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 é calculada por:

$$CTC_{\text{pH}7,0} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$$

Observações:

a) O teor de Na^+ nos solos ácidos em geral é baixo e normalmente não é incluído no cálculo;

b) Para expressar o teor de K^+ em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, utiliza-se a equação seguinte:

$$\text{cmol}_c \text{ de } K^+/\text{dm}^3 = \text{mg de } K^+/391.$$

Os valores da CTC_{efetiva} e da $CTC_{\text{pH}7,0}$ são utilizados para os cálculos da saturação por alumínio e por bases, obtidos como mostrado a seguir:

A saturação da CTC_{efetiva} por alumínio (valor m) é calculada por:

$$m = \frac{Al \times 100}{CTC_{\text{efetiva}}}$$

Já a fração da $CTC_{\text{pH}7,0}$ ocupada pelos cátions de reação básica representa a porcentagem das cargas negativas do solo neutralizadas por cátions de reação básica, denominada saturação por bases (valor V), sendo calculada por:

$$V = \frac{S \times 100}{CTC_{\text{pH}7,0}}$$

em que: S = soma dos cátions e reação básica ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$) em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

4.3.10. Diagnóstico da disponibilidade de enxofre e de micronutrientes (métodos de extração)

a) Cobre e Zinco: são extraídos com HCl 0,1mol/L e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; os valores são expressos em mg/dm^3 . As determinações de Cu e de Zn podem ser feitas também no extrato da solução de Mehlich-1. As quantidades extraídas são, entretanto, aproximadamente 30% menores que as determinadas no extrato de HCl 0,1 mol/L. Na análise usam-se 10cm^3 de solo.

b) Enxofre: é extraído com solução de fosfato de cálcio contendo 500mg de P/L, determinando-se o teor de sulfato por turbidimetria com cloreto de bário, após a digestão do extrato com ácido perclórico; os valores são expressos em mg/dm^3 . Na análise usam-se 10cm^3 de solo.

c) Boro: é extraído com água quente e determinado por colorimetria, com curcumina; os valores são expressos em mg/dm^3 . Na análise usam-se 5cm^3 de solo.

d) Manganês: é determinada por espectrofotometria de absorção atômica no mesmo extrato da solução de Mehlich-1, representando o manganês trocável; os valores são expressos em mg/dm^3 . Utiliza-se a mesma solução da determinação de fósforo e potássio.

e) Ferro: é extraído com oxalato de amônio a pH 3,0, sendo determinado por espectrofotometria de absorção atômica. A forma química extraída é o ferro de compostos amorfos (ou de baixa cristalinidade) do solo; os valores são expressos em g/dm^3 . Na análise usam-se $1,5\text{cm}^3$ de solo.

4.4. Fertilidade de solos

A análise química é a mais usada para a avaliação da fertilidade do solo porque estas análises são rápidas e de baixo custo; podem ser feitas em qualquer época do ano; os resultados podem ser interpretados facilmente e possibilitam a elaboração de levantamentos de fertilidade em nível regional [4].

Para a interpretação dos resultados das análises básicas para fertilidade, o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina [23] apresenta as tabelas de 2 a 7 com padrões para cada análise. Os resultados para as análises são divididos em faixas, divididas em intervalos uniformes; para o fósforo e potássio, por exemplo, são cinco faixas de interpretação dos resultados, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Neste caso, três destas faixas estão entre o zero e o teor crítico, e duas acima do teor crítico. O teor crítico é o limite inferior da faixa “alta” (limite entre médio e alto), em que

normalmente se obtêm rendimentos próximos à máxima eficiência, em geral em torno dos 90% do rendimento relativo máximo.

4.4.1. Acidez do solo

O diagnóstico da acidez é feito pela interpretação dos valores de pH em água e pela porcentagem da saturação da $CTC_{pH7,0}$ por bases e da $CTC_{efetiva}$ por alumínio. O calcário para a correção da acidez deve ser aplicado até seis meses antes do plantio de uma cultura menos tolerante a acidez e até três meses antes do plantio das demais culturas para obter os efeitos benéficos da calagem. A interpretação dos valores de pH em água, saturação da CTC por bases e por alumínio é apresentada na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Interpretação dos valores de pH em água, saturação da CTC por bases e por alumínio.

Interpretação	pH em água	Saturação por	Saturação por
		bases ($CTC_{pH7,0}$)	Alumínio ($CTC_{efetiva}$)
-----%-----			
Muito Baixo	≤5,0	<45	<1
Baixo	5,1 - 5,4	45 - 64	1 - 10
Médio	5,5 - 6,0	65 - 80	10,1 - 20
Alto	>6,0	>80	>20

4.4.2. Teores de argila, matéria orgânica e Capacidade de troca de cátions

A interpretação dos teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) é apresentada na tabela 3 abaixo. É necessário o agrupamento dos solos de acordo com o teor de argila para a interpretação dos resultados de fósforo extraído pela solução de Mehlich-1. O teor de matéria orgânica indica a disponibilidade de nitrogênio, e o conhecimento da CTC é importante para caracterização do solo, interpretação dos teores de K e para orientar a adubação.

Tabela 3 – Interpretação dos teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions.

Argila		Matéria Orgânica		$CTC_{pH7,0}$	
Faixa	Classe	Faixa	Interpretação	Faixa	Interpretação
%		%		cmol/dm ³	
≤20	4	≤2,5	Baixo	≤5,0	Baixo
21 - 40	3	2,6 - 5,0	Médio	5,1 - 15,0	Médio
41 - 60	2	>5,0	Alto	>15,0	Alto
>60	1	-	-	-	-

4.4.3. Fósforo

O método Mehlich-1 é adotado no RS e em SC desde 1968. A capacidade de extração de P pela solução de Mehlich é baixa em solos que contém alto teor de argila e, em consequência, teores elevados de óxidos de ferro e de alumínio que insolubilizam o fósforo, a interpretação dos teores de P é feita conforme o teor de argila para as culturas de sequeiro. A Tabela 4 mostra a interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1 conforme o teor de argila.

Tabela 4 – Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1 conforme o teor de argila.

Interpretação	Classe de solo conforme teor de argila			
	1	2	3	4
	-----mg/dm ³ -----			
Muito baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0
Baixo	2,1 - 4,0	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	7,1 - 14,0
Médio	4,1 - 6,0	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	14,1 - 21,0
Alto	6,1 - 12,0	9,1 - 18,0	12,1 - 24,0	21,1 - 42,0
Muito alto	>12,0	>18,0	>24,0	>42,0

4.4.4. Potássio

Devido à resposta das culturas a adubação potássica, as faixas de interpretação os teores desse nutriente no solo variam conforme a capacidade de troca de cátions a pH 7,0. A Tabela 5 mostra a interpretação do teor de potássio conforme as classes de CTC do solo a pH 7,0.

Tabela 5 – Interpretação do teor de potássio conforme as classes de CTC do solo a pH 7,0.

Interpretação	CTC _{pH7,0} (cmol _c /dm ³)		
	1	2	3
	-----mg/dm ³ -----		
Muito baixo	≤ 30	≤ 20	≤ 15
Baixo	31 - 60	21 - 40	16 - 30
Médio	61 - 90	41 - 60	31 - 45
Alto	91 - 180	61 - 120	46 - 90
Muito alto	>180	>120	>90

4.4.5. Teores de cálcio, magnésio

Os teores de Ca e Mg trocáveis são enquadrados em três faixas: baixo, médio e alto, conforme mostra a Tabela 6. Na prática, consideram-se satisfatórios os teores situados na classe médio. Em geral a relação Ca/Mg do solo varia entre 1 e 5. Entretanto, tem-se observado que o rendimento da maior parte das culturas não é afetada por relações variando de 0,5 a 10, desde que nenhum dos nutrientes esteja em deficiência. A relação Ca/Mg pode ser aumentada sem a elevação do pH pela aplicação de gesso agrícola.

Tabela 6 – Interpretação dos teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo.

Interpretação	Cálcio	Magnésio
	-----cmol _c /dm ³ -----	
Baixo	≤ 2,0	≤ 0,5
Médio	2,1 - 4,0	0,6 - 1,0
Alto	>4,0	>1,0

4.4.6. Teores de micronutrientes

A interpretação dos teores de micronutrientes no solo é mostrada na Tabela 7, onde são usadas três faixas de interpretação: baixo, médio e alto. Raramente são observadas deficiências de micronutrientes em culturas anuais nos solos dos Estados do RS e SC.

Entretanto, podem ocorrer deficiências em solos arenosos com teor baixo de matéria orgânica e/ou com pH elevado.

Tabela 7 – Interpretação dos teores de micronutrientes no solo.

Interpretação	Cobre	Zinco	Manganês	Ferro
	-----mg/dm ³ -----			g/dm ³
Baixo	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 2,5	-
Médio	0,2 - 0,4	0,2 - 0,5	2,5 - 5,0	-
Alto	>0,4	>0,5	>5,0	>5,0 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Este valor pode estar relacionado com a ocorrência de toxidez por ferro que pode ocorrer em alguns cultivares de arroz irrigado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para as análises de metais nos sedimentos analisados.

Tabela 8 – Teores dos metais pesados, em peso seco (Mn, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr, Cd, Pb, Hg) e arsênio nas amostras analisadas;

*nd representa os valores abaixo do limite de detecção, sendo ≤0,01 mg/Kg para As e ≤0,05 mg/Kg para Hg.

Amostra	* d.r. (cm)	espes.(cm)	Mn	Cu	Zn	Fe	Ni	Cr	Cd	Pb	As	Hg	
Nível 1-Conama Res. nº 344 de 2004 (mg/Kg)			-	34	150	-	20,9	81	1,2	46,7	8,2	0,15	
FURO 1													
Shelby # 1	7	3	3	502,64	23,66	70,63	1330,16	15,62	62,17	0,02	20,66	nd	nd
	8	15	5	475,11	20,52	87,93	1339,08	22,72	69,86	0,02	19,87	nd	nd
	9	25	5	433,07	16,52	66,26	1279,12	17,58	55,10	0,04	19,85	nd	nd
	10	41	6,5	510,81	25,20	78,93	1332,21	21,23	65,94	0,02	18,74	nd	nd
Média				480,41	21,48	75,94	1320,14	19,29	63,27	0,02	19,78	nd	nd
FURO 2													
Shelby # 2	11	5	5	479,89	19,51	70,48	1287,16	17,60	66,19	0,03	19,51	nd	nd
	12	22,5	5	509,03	23,30	75,01	1301,90	22,31	61,52	0,04	18,74	nd	nd
Shelby # 3	4	3	3	479,33	22,49	75,46	1330,89	22,37	65,88	0,01	21,35	nd	nd
	5	18	3	486,95	20,30	71,77	1321,82	22,41	65,47	0,04	20,30	nd	nd
	6	37	6	510,96	25,82	79,56	1336,04	21,68	65,85	0,01	20,14	nd	nd
Shelby # 4	13	5	5	513,81	19,12	79,14	1262,43	21,89	63,28	0,03	19,02	nd	nd
	14	16	3	501,04	11,47	72,83	1347,52	20,25	69,71	0,04	18,74	nd	nd
	15	28	6	472,04	16,14	74,96	1294,68	18,99	56,80	0,01	18,64	nd	nd
Média				494,13	19,77	74,90	1310,31	20,94	64,34	0,03	19,56	nd	nd
FURO 3													
Shelby # 5	16	3	3	521,49	21,87	72,16	1342,22	22,34	65,97	0,02	20,34	nd	nd
	17	10	2	530,55	20,26	78,76	1340,41	23,23	66,11	0,02	20,69	nd	nd
Shelby # 6	1	2	2	488,53	18,92	69,58	1243,82	21,34	62,29	0,02	19,84	nd	nd
	2	12	5	464,38	22,12	77,51	1308,24	21,29	68,72	0,02	19,65	nd	nd
	3	29,5	6,5	509,49	11,03	78,40	1280,87	21,28	60,49	0,02	18,27	nd	nd
Média				502,89	18,84	75,28	1303,11	21,90	64,72	0,02	19,76	nd	nd

* d.r. - Distância Relativa até o fundo da bacia de sedimentação.

Conforme mostrado na Tabela, apenas o nível de Níquel (Ni) se apresentou um pouco acima dos valores estabelecidos na Resolução 344 do CONAMA para resíduos de dragagem. Os demais metais se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA [17].

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam os resultados da análise de fertilidade para fins de adubação, realizada no Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

Tabela 9 – Diagnóstico para calagem do solo

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{efetiva}	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol _c /dm ³					Al	Bases	
Furo 1	6,8	12,4	12,1	0	1	26,3	0	96	7,3
Furo 2	7,2	12,5	15,7	0	1	30,1	0	97	7,3
Furo 3	7,4	14	17,2	0	0,9	33,1	0	97	7,4

Tabela 10 – Diagnóstico para recomendação de adubação NPK

Registro	% Mat. Org. m/v	% Argila m/v	Textura	P-Mehlich mg/dm ³	CTC pH7,0 cmol _c /dm ³	K mg/dm ³
Furo 1	1,9	28	3	>50,2	27,3	696
Furo 2	1,9	32	3	>50,2	31,1	732
Furo 3	1,7	32	3	>50,2	34	762

Tabela 11 – Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Na mg/dm ³	Relações			
		Ca/mg	Ca/K	Mg/K	K/(Ca+Mg)
Furo 1	2808	1	7	6,8	0,36
Furo 2	2610	0,8	6,7	8,4	0,353
Furo 3	2592	0,8	7,2	8,8	0,349

Conforme mostrado nas Tabelas 9, 10 e 11 acima, e por comparação com os parâmetros de fertilidade mostrados nas Tabelas 2 a 7, podemos então analisar os resultados obtidos para determinação da fertilidade e utilização do resíduo da dragagem como solo fabricado e determinar a necessidade de corretivos.

A partir da Tabela 2, analisando o pH em água, obtivemos um resultado enquadrado como alto, e estando ele de neutro a pouco alcalino (valor médio 7,13). A saturação por bases (97%) está enquadrada como alta, e a saturação em alumínio foi muito baixa (zero).

Pela Tabela 3, determinamos que a textura a partir do percentual de argila (valor médio de 30,7%), se classifica como classe 3. O teor de matéria orgânica (1,8%), se interpreta como baixo, e a CTC_{pH7,0} (30,8 cmol_c/dm³) é interpretada como alta.

Na Tabela 4, interpretamos o teor de fósforo no solo pelo método de Mehlich-1, de acordo com o seu teor de argila, e verificamos que as amostras apresentam um teor muito alto, estando as amostras acima de 50,2mg/dm³.

A Tabela 5 apresenta a interpretação para teor de potássio conforme a CTC_{pH7,0}. Como a CTC_{pH7,0} que foi, foi maior que 15,0; o valor determinado para potássio foi definido como muito alto (valor médio de 730mg/dm³), com valor bem acima do limite inferior desta faixa (180mg/dm³).

Para a Tabela 6, verificamos um teor de cálcio (valor médio de $12,97\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e de magnésio (valor médio de $15\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) interpretado como alto, sendo estes acima de 4,0 (Ca) e de 1,0 (Mg). Porém a relação Ca/Mg apresenta-se boa, com valores de 1,0 e 0,8, considerando que se obtém um bom rendimento com valores entre 0,5 e 10.

Por fim, para os micronutrientes (apresentados na Tabela 7), os valores de cobre (20mg/kg), zinco (75,37 mg/kg), manganês (492,5mg/kg) e ferro (1311,19mg/kg) se encontram muito acima dos limites inferiores para a faixa alta.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o estudo dos resíduos do material dragado é de suma importância tanto para os custos da operação quanto para aproveitamento desse material e preservação do meio ambiente. A pesquisa foi feita para determinação do potencial, propriedades químicas e físicas e sugestões do aproveitamento desse resíduo. As análises comprovaram que o solo não se apresenta contaminado, segundo valores de referência do CONAMA, para lama de dragagem; e apresentou todos os nutrientes estudados para fertilidade com valores elevados, mostrando seu potencial para uso agrícola. Como foi mostrado nas fotos em 2001 e 2006 das bacias de sedimentação, houve um grande desenvolvimento de vegetação na área em que a lama ficou depositada, o que mostra o potencial do resíduo analisado, para comprovação das qualidades do material.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, M.R.M.P. de; NOVAES, A.C.; GUARINO, A.W.S. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos** Química Nova, v25, n6b, p1145 – 1154, 2002.
2. BANDEIRA, J. V.; **O uso de técnicas nucleares para a quantificação do transporte de sedimentos finos em suspensão e da densidade do depósito desses sedimentos** – Palestra no porto do Rio Grande – RS – 14 de dezembro de 2005.
3. BRAY, R.N.; BATES, A.D. e LAND, J.M. 1997 **Dredging, a Handbook for Engineers**. John Wiley & Son, Inc. Second edition. New York. 434p.
4. BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. – **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas** – Porto Alegre: Genesis, 2004.
5. CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. **Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos**. Jaboticabal, 2001, cap 5.
6. CANECCHIO FILHO, V., **Administração técnica agrícola** – 8ª Edição – Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.
7. CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C.; ARAÚJO, W.; NETO, L.; SAAB, S.; CUNHA, T.; FREIXO, A. (1999) **Estudo Comparativo de Métodos de Determinação do Teor de Matéria Orgânica em Solos Orgânicos do Estado do Rio de Janeiro**. EMBRAPA, ISSN 1516 – 702X N° 3.
8. DAVIS, J.D.; MacKNIGHT, S. e IMO staff. 1990. **Environmental Considerations for Port and Harbor Developments**. World Bank Technical Paper, no 126, 83p.
9. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. rev. e atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Rio de Janeiro, 1997.

10. ENGINEER MANUAL n° 1110 – 2 – 5027 (1987) - **Engineering and Design Confined Disposal of Dredged Material**. Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers.
11. FRANÇA, R.G., 1998. Metais pesados nos sedimentos do sul da Lagoa dos Patos: Identificação do melhor normalizante geoquímico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Mestrado. FURG. 90 p. + Apêndices e Anexos.
12. GRIEP, G.; LIMA, G.T.N.; BAISCH, P. (2003) **Relatório da SUPRG: Diagnóstico Ambiental do Sítio do Terraplano**.
13. KERSTNER, V. W. T., **Avaliação do comportamento geotécnico e geoquímico de rejeitos de dragagem do Porto Novo de Rio Grande/RS**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, outubro 2003.
14. LEE, C.R. (1999), **Case Studies: Characterization Tests to Determine Dredged Material Suitability for Beneficial Uses**. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C7), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
15. LINSLEY, R. K. e Franzini, J.B., 1978. **Engenharia de Recursos Hídricos**. McGraw Hill do Brasil. São Paulo, 798p.
16. McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford, 1994. 406p.
17. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA RESOLUÇÃO N° 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004.
18. PORTO DO RIO GRANDE – Notícias –www.portoriogrande.com.br
19. TORRES, R. J., **Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS**, Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, julho 2000.
20. SCHROEDER, H.A. **Essential trace metals in man: copper**. Journal of Chronic Diseases, v19, 1966.
21. SCHULTZ, L. A. **Métodos de conservação do solo**. 2ª Impressão – Editora Sagra S.A. Porto Alegre – RS.
22. SOARES, M.R. **Coefficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado Escola Superior de Agricultura Liz de Queiroz, Piracicaba, 2004, 202p.
23. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** – 10ª edição – Porto Alegre, 2004.
24. TAYLOR, S.R. & McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Research School of Earth Sciences, Australian National University.
25. UNEP, 1995. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended matter. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 63. p. 74.
26. UNESCO, 1990: Manuals and Guides - Standard and Reference Materials for Marine Science. IAEA, Analytical Quality Control Service.
27. USTRA, J. R. **Otimização da técnica de espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio e concentrações de mercúrio total em organismos e sedimentos no sul do estuário da Lagoa dos Patos**. Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, 2001.
28. WINFIELD, L. E.; LEE, C. R. (1999) **Dredged Material Characterization Tests for Beneficial Use Suitability**. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C2), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
29. World Health Organization. **Trace elements in human nutrition and health**. Geneva: WHO, 1996.