MARIO HENRIQUE SIMÕES

SISTEMATIZAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DE DRAGAGENS PORTUÁRIAS MARÍTIMAS NO BRASIL

São Paulo
2009

MARIO HENRIQUE SIMÕES

SISTEMATIZAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DE DRAGAGENS PORTUÁRIAS MARÍTIMAS NO BRASIL

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica

Orientadora: Dra. Emília Arasaki

São Paulo
2009

DEDICATÓRIA

À minha família

AGRADECIMENTOS

Aos professores Emilia Arasaki e Paolo Alfredini, meus orientadores, por terem sempre apoiado e incentivado minha formação neste curso de pós-graduação e pela dedicação, acessibilidade e entusiasmo com que orientaram esta dissertação de mestrado.

Aos professores Carlos Lloret Ramos, Luís César de Souza Pinto, Michel Michaelovitch de Mahiques, Podalyro Amaral de Souza e Valdenir Veronese Furtado, pelos ensinamentos passados nas disciplinas do programa de pós-graduação.

A minha família, pela confiança, paciência e apoio fornecidos durante toda minha vida e em especial durante este trabalho.

Aos amigos da Área de Engenharia Hidráulica, em especial ao amigo Juliano Gerent pela presença e incentivos durante todas as etapas percorridas para realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica pelo carinho e apoio dispensados.

RESUMO

O crescimento da atividade econômica nacional na movimentação de granéis sólidos e líquidos, bem como na carga geral, vem exigindo o desenvolvimento de uma política especial para o setor de dragagem, de modo a eliminar os passivos existentes nos portos públicos relativos à expansão das atividades portuárias. Dentro desta necessidade de crescimento, as condicionantes ambientais devem ser muito bem avaliadas e integradas aos projetos de dragagem na forma de Estudos de Impactos Ambientais, oferecendo subsídios para o desenvolvimento das atividades e garantindo o controle dos impactos ambientais, através de medidas preventivas, mitigadoras e/ou compensatórias.

O presente trabalho avaliou as principais metodologias, equipamentos utilizados e modos de disposição do material dragado nas atividades de dragagens portuárias marítimas, assim como as diferentes variáveis para gestão das operações de escavação e disposição material em função de seus potenciais efeitos sobre o meio ambiente, oferecendo informações que possibilitem a facilitação do processo de decisões nos projetos de dragagem. Para isto, este estudo caracterizou como a gestão ambiental de dragados, com enfoque na disposição de sedimentos em locais confinados, pode influenciar na operacionalidade portuária marítima do ponto de vista técnico, social e econômico, considerando-se as legislações e recomendações vigentes no Brasil e em nível internacional.

Palavras-chave: Dragagem marítima, Santos (SP), Legislação Ambiental

ABSTRACT

The growth of brazilian economic loading rate of bulk solids and liquids, as well as general cargo, requires a special policy for the dredging sector, to remove the existing liabilities in the public ports for the expansion of port activities. Within this growing need, the environmental constraints must be thoroughly evaluated and integrated with dredging projects in the form of Environmental Impact Assesments, offering subsidies for the improvement of activities and ensuring control of environmental impacts through preventive, mitigating and / or allowances.

This study evaluated the main methodologies, equipment used and methods of disposal of dredged material from dredging activities in the maritimes ports, and the different variables to manage operations and disposal of excavated material, on the basis of their potential environmental effects, offering information to enable the process of making decisions in dredging projects. With this purpose, the study was characterized as the environmental management of dredged material, focusing how sediments in confined disposal can influence the seaport operation in terms of technical, social and economic development, considering the international and brazilian laws and guidelines, found in Brazil and internationally.

Keywords: Maritime dredging, Santos (SP), Environmental legislation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de Gerenciamento do Material Dragado 6
Figura 2– Caçamba de Mandíbulas (Vista Lateral) 12
Figura 3- Caçamba de Mandíbulas..... 12
Figura 4– Ilustração de uma retroescavadeira 14
Figura 5- Ilustração do funcionamento de uma Pá de Arrasto..... 15
Figura 6- Pá de Arrasto em operação 16
Figura 7- Draga de Alcatruzes (Perfil e Planta Esquemáticos)..... 17
Figura 8- Draga de Alcatruzes em operação 18
Figura 9- Draga de Sucção e Recalque (Perfil Esquemático)..... 20
Figura 10- Draga de Sucção e Recalque com tubo de sucção suspenso mostrando detalhe do desagregador..... 20
Figura 11- Tipos de Lâminas de Desagregador 21
Figura 12- Desagregador helicoidal utilizado em dragagens ambientais..... 22
Figura 13- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto (Perfil Esquemático) 23
Figura 14- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto (Vistas Frontais) 23
Figura 15- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto com detalhe para a tubulação de sucção recolhida 24
Figura 16- Esquema de funcionamento da Bomba à Jato..... 25
Figura 17- Esquema de funcionamento do Air Lift 26
Figura 18– Dragas Anfíbias 28
Figura 19- (A) Extensa área de planície costeira formada nas décadas de 80 e 90 (B) Localização aproximada da linha de costa no início da década de 80 32
Figura 20– Erosão ao norte do Istmo na Ilha do Mel em Setembro de 2003. 32
Figura 21– Criação de bermas offshore com o uso de material dragado 72
Figura 22– Equipamento Hidrociclone em Operação..... 75
Figura 23– Esquema de etapas da desidratação..... 76
Figura 24– CDF completamente emerso..... 82
Figura 25– CDF parcialmente submerso 83
Figura 26– CDF submerso 84
Figura 27– Localização do Canal de Piaçagüera..... 105
Figura 28–Canal de Piaçagüera – Divisão de Trechos de Dragagem..... 109
Figura 29– (A) Referenciamento do Quadrilátero de Disposição em Relação ao Litoral Paulista (sem escala), (B)Quadrantes do Quadrilátero de Disposição de Material Dragado 112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeção de aumento de cota dos portos brasileiros.....41
Tabela 2 - Critérios de Qualidade para os principais sedimentos aquáticos.....54
Tabela 3 - Classificação Granulométrica de Solos 65
Tabela 4 - Medidas de Controle para gerenciamento de material contaminado proveniente de dragagem.....99
Tabela 5 - Divisão das operações de dragagem em trechos.....110

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 1

1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS 1
1.2 – JUSTIFICATIVAS 1
1.3 – OBJETIVO E ÂMBITO DO ESTUDO 3
1.4 – ORDENAÇÃO DO TRABALHO 3

2 – A DRAGAGEM E SUA UTILIZAÇÃO 5

2.1 – DRAGAGEM DE IMPLANTAÇÃO OU DE AMPLIAÇÃO 7
2.2 – DRAGAGEM DE MANUTENÇÃO 7
2.3 – DRAGAGEM DE CONTROLE AMBIENTAL 8

3 – MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM 10

3.1 – MÉTODOS DE DRAGAGEM 10
3.2 – TIPOS DE DRAGAS 11

4 – A DRAGAGEM E SEUS EFEITOS POTENCIAIS NO MEIO AMBIENTE 29

4.1 – EFEITOS POTENCIAIS ADVERSOS 30
4.2 – EFEITOS POTENCIAIS BENÉFICOS 34

5 – ASPECTOS LEGAIS 38

5.1 – LEGISLAÇÃO BRASILEIRA 38
5.2 – A MODERNIZAÇÃO DOS PORTOS BRASILEIROS 40
5.3 – CONVENÇÕES INTERNACIONAIS 41
5.4 – CRITÉRIOS INTERNACIONAIS PARA DISPOSIÇÃO MARÍTIMA DE DRAGADOS 46

6 – GERENCIAMENTO DO MATERIAL DRAGADO 61

6.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA 62
6.2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA 66
6.3 – CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA 69
6.4 – GESTÃO DO MATERIAL DRAGADO 70

7 – DISPOSIÇÃO EM LOCAIS CONFINADOS 81

7.1 – INTRODUÇÃO 81
7.2 – TIPOS DE CDF'S – VANTAGENS E DESVANTAGENS 81
7.3 – CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E DO SEDIMENTO 85
7.4 – PROCESSOS E POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS.....89
7.5 – MEDIDAS DE CONTROLE 95
7.6 –MONITORAMENTO 100

8 – ESTUDO DE CASO 105

8.1 – DRAGAGEM DO CANAL DE PIAÇAGÜERA.....105

9 – CONCLUSÕES.....123

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações gerais

O Brasil possui 8.500 km de linha costeira na qual estão distribuídos mais de 40 portos que operam praticamente em sua totalidade para o comércio exterior por navegação de longo curso. Apesar do transporte hidroviário ser o mais econômico para movimentação de grandes volumes de carga com baixo valor unitário podendo reduzir o custo do frete de produtos em até 50% com menor consumo energético e menores impactos ambientais, no Brasil a utilização de sistemas multimodais com ênfase no transporte hidroviário não é plenamente explorada.

A implementação de uma política de sustentabilidade da cabotagem, vinculando as linhas de transporte interior às expressas de longo curso proporcionariam o desafogamento do modal rodoviário, o uso racional de energia, a preservação do meio ambiente, a redução dos ciclos de navios internacionais e, conseqüentemente, aumentaria a competitividade dos produtos nacionais no mercado mundial.

O contexto atual da indústria da dragagem no Brasil sinaliza o crescimento das atividades portuárias marítimas no futuro próximo (5 anos), bem como em médio prazo (até 15 anos). Este panorama no crescimento atual da atividade econômica nacional na exportação de granéis sólidos e líquidos, bem como na carga geral, somente será sustentável com uma nova política nacional para o setor da dragagem que elimine os passivos existentes nos portos públicos e enfrente a demanda dos investimentos programados. De fato, em 2007 instituiu-se o novo Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária, o que se traduzirá certamente em promissor campo de atuação, em função da formidável demanda existente.

1.2 – Justificativas

Várias centenas de milhões de metros cúbicos são dragados anualmente em todo mundo, sendo que no Brasil a demanda anual de dragagem é de mais de 73 milhões de metros cúbicos . Os trabalhos de dragagem são geralmente complexos e

custosos, fazendo parte de uma proporção substancial dos custos dos projetos marítimos.

Dragagens podem gerar impacto ambiental de diferentes gradações relacionados tanto com a própria execução da dragagem, como danos à comunidade bentônica, aumento da turbidez na massa d'água quanto com a disposição do material dragado, como alterações morfológicas dos corpos d'água, e a contaminação do lençol freático por disposição de forma inadequada do material dragado contaminado por uma grande diversidade de poluentes. Nesses casos, a atividade de dragagem e destinação dos sedimentos torna-se um problema ambiental e, por isso, com restrições quanto ao uso e disposição. Em vários países a legislação ambiental já é bastante exigente no que diz respeito à redução dos impactos ambientais associados a essas atividades. No Brasil, para disposição em terra, o material dragado deverá ser classificado de acordo com os valores orientadores estabelecidos para solos pela norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Já para disposição em águas jurisdicionais brasileiras, a atividade é regulada pela Resolução CONAMA n° 344/2004.

O produto da dragagem é um recurso natural valioso quando aplicado em usos benéficos para o homem (PIANC, Beneficial Uses of Dredged Material, 1992). Porém, na maioria dos casos, este material é despejado fora, sem qualquer aproveitamento. Ao ser avaliada a necessidade da dragagem, deve-se investigar a viabilidade de aplicação de ações combinadas para o reaproveitamento do material dragado.

Grande parte do material dragado é disposta no mar. Caso o rejeito de dragagem esteja contaminado, o material depositado poderá se constituir em fonte de contaminantes para a coluna d'água, gerando uma concentração de contaminantes incompatível com o ecossistema local. Mesmo materiais não poluídos podem, por efeito de correntes marítimas, de maré e vento, dispersarem-se atingindo regiões mais distantes que venham a ter o seu uso comprometido, tais como: praias, áreas pesqueiras ou áreas de proteção ambiental.

Acordos internacionais vêm impondo medidas restritivas de modo a eliminar ou reduzir de maneira substancial a poluição aquática. Assim, a decisão entre as diferentes alternativas de disposição / reutilização deverá levar em conta, além dos aspectos econômicos, os impactos ambientais e técnicos, ficando ainda mais reduzido o número de alternativas para disposição do material dragado

contaminado. Neste cenário, os licenciamentos ambientais de tais obras tornar-se-ão cruciais para a viabilidade da implantação e manutenção das instalações portuárias marítimas

1.3 – Objetivo e âmbito do estudo

Com a necessidade de enfrentamento das questões relativas à dragagem, o problema se mostra cada vez mais crítico, sendo necessário equacioná-lo por meio de processos voltados a cada caso.

Sedimentos contaminados são assunto internacional e atualmente não há como se ter soluções simples para todo tipo de situação. Partindo deste princípio, neste trabalho a dragagem portuária marítima será avaliada sob o ponto de vista do gerenciamento ambiental dos materiais dragados, incluindo um estudo de caso apresentado. O enfoque deste projeto será quanto os aspectos hidrossedimentológico e ambiental, considerando-se as legislações e recomendações vigentes no Brasil e em nível internacional.

1.4 – Ordenação do trabalho

Com objetivo de proporcionar uma melhor compreensão do problema do gerenciamento do material dragado, nos Capítulos 2 e 3 serão descritas as diferentes formas de operação das dragagens e os equipamentos usados para remoção dos sedimentos.

O Capítulo 4 relaciona sucintamente as atividades da dragagem com seus efeitos potenciais no meio ambiente.

A disposição do material dragado no mar é regulamentada no território brasileiro pela Resolução CONAMA N° 344/04. Mundialmente tal procedimento é regido pela Convenção de Londres e por um grande número de outras convenções regionais. É portanto de grande importância a descrição dessas convenções e códigos que regulam a disposição do material dragado, sendo este o objetivo do Capítulo 5.

O gerenciamento do material dragado é apresentado no Capítulo 6. O conhecimento prévio da natureza dos sedimentos contaminados e dos riscos que oferecem é fator primordial no planejamento das operações de dragagem,

possibilitando a realização dos serviços de dragagem com minimização dos danos ambientais e com custos os mais reduzidos possíveis. Complementado a finalidade deste capitulo, são descritas sucintamente as diferentes alternativas de gestão do material dragado.

Os Capítulos 7 e 8 analisam as formas de disposição em locais confinados, com a apresentação de um estudo de caso da Dragagem do Canal de Piaçagüera.

2 – A DRAGAGEM E SUA UTILIZAÇÃO

Dragagem, por definição, é a ação de escavação ou movimentação de solo ou rocha por auxílio de equipamentos denominados dragas que são, geralmente, embarcações ou plataformas flutuantes equipadas com mecanismos para mover ou escavar solo ou rocha do fundo de rios, lagos, mares e demais corpos d'água.

A dragagem é uma prática antiga, porém seu estudo é relativamente recente. Indícios de trabalhos humanos envolvendo técnicas primitivas de dragagem foram descobertos em várias localidades, em períodos que datam de milhares de anos.

Com o desenvolvimento de maquinários de dragagem houve um aumento considerável no escopo e complexidade de projetos de engenharia que poderiam envolver a dragagem. Desde então, os resíduos de dragagem eram dispostos aleatoriamente, sem que houvesse nenhum questionamento maior sobre o aspecto ambiental.

Ultimamente, as atividades de dragagem têm sido avaliadas cada vez mais do ponto de vista de seus efeitos potenciais no ambiente. Em particular, a disposição do material dragado vem sendo o foco de atenção considerável. Configurando essa tendência, a Conferência de Estocolmo realizada em 1972 deu origem às regulamentações internacionais de depósito dos materiais dragados em áreas marítimas, reconhecendo que as atividades humanas em áreas marinhas resultavam em problemas ambientais.

A disposição dos rejeitos de dragagem passou então a ser maior avaliada com o intuito de desenvolvimento de técnicas e métodos para possíveis formas de aproveitamento, assim como um procedimento generalizado de avaliação para selecionar as diferentes alternativas de aproveitamento mais adequadas deste importante recurso. Sob este ponto de vista, qualquer discussão sobre dragagem em relação ao meio ambiente não deve somente focar nos possíveis efeitos adversos resultantes da dragagem, mas também os benefícios consideráveis que se pode obter mediante a uma operação de dragagem bem planejada e nos numerosos meios em que a dragagem possa ser usada positivamente para a melhora do ambiente. O fluxograma da Figura 1 resume os procedimentos a serem seguidos em um projeto de dragagem.

O serviço de dragagem, assim como qualquer outro projeto de engenharia, envolve uma série de estágios e técnicas específicas de maneira a tornar sua execução segura sob todos os aspectos e viável financeiramente, visto os que o custo da dragagem pode chegar a 50% ou mais do custo total na implantação de um porto.

Desta maneira, para que se possa analisar um projeto de dragagem, é necessário entender plenamente a finalidade para a qual as dragas serão utilizadas.

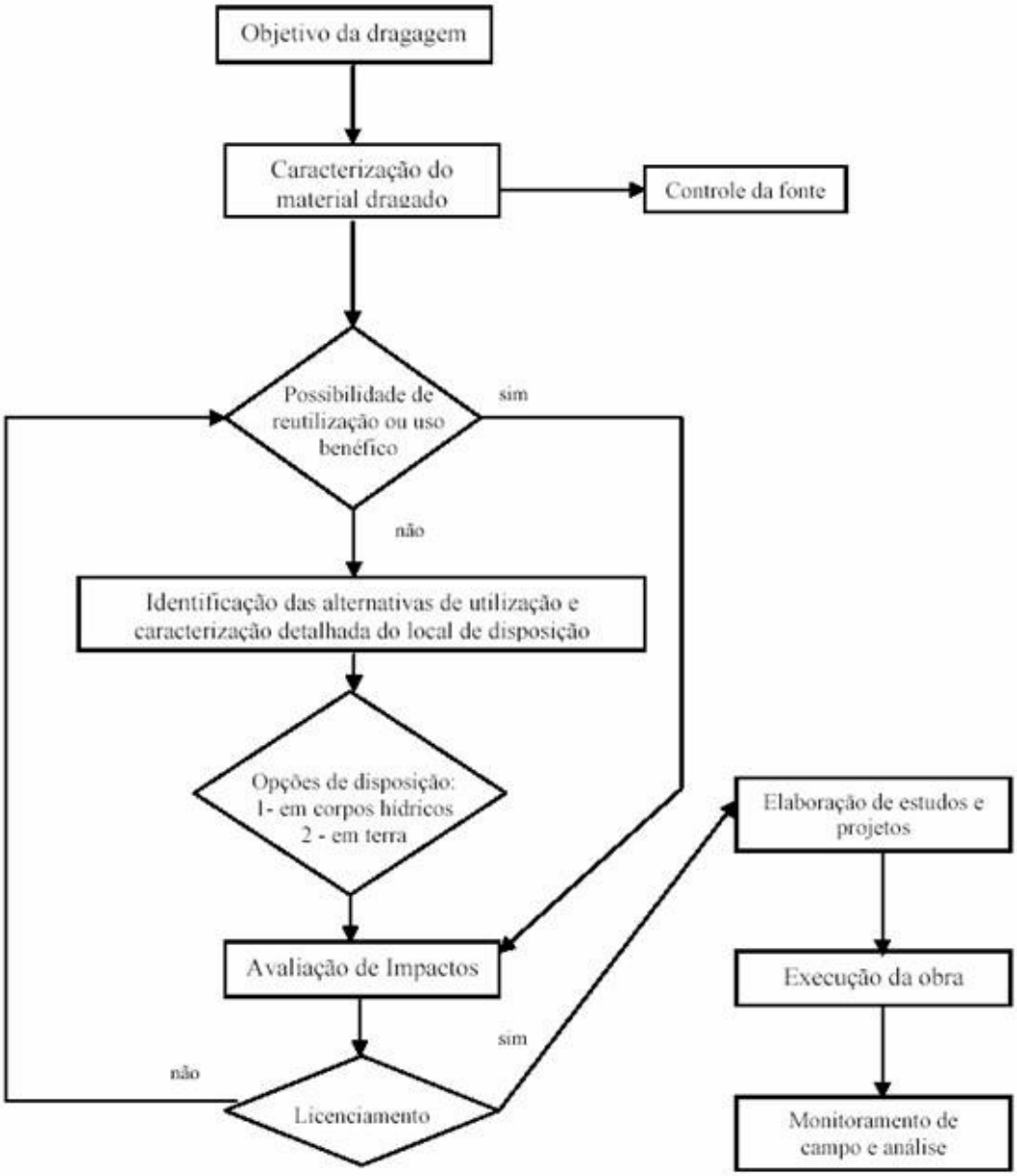


Figura 1 – Fluxograma de Gerenciamento do Material Dragado

Fonte: Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentado – SEMADS – RJ - 2002

Posto que o termo dragagem designa uma ampla variedade de atividades envolvendo a movimentação ou remoção de materiais submersos, a dragagem é normalmente classificada em três tipos, conforme a sua finalidade:

- Dragagem de implantação ou de ampliação
- Dragagem de manutenção
- Dragagem de controle ambiental

2.1 – Dragagem de implantação ou de ampliação

A dragagem de implantação para fins de navegação é a escavação de sedimentos para o aumento da profundidade em uma área, seja ela para a criação de canais de acesso ou bacias de evolução para acomodar o projeto do porto ao navio tipo. A escavação geralmente ocorre em áreas não dragadas anteriormente em que os materiais são relativamente estáveis e passaram a ser consolidados no âmbito do regime hidráulico existente. No entanto, a dragagem de implantação também inclui a remoção de material de áreas anteriormente dragadas onde tenha ocorrido sedimentação e o material sedimentado não foi removido por dragagem por um longo período de tempo. Em tais casos, ocorre a consolidação do material depositado e as propriedades físicas do leito serão revertidas para características semelhantes às do material virgem e, portanto, é tratado como dragagem de implantação.

As características principais deste tipo de dragagem são a movimentação de grandes quantidades de material e a remoção de solos compactos.

2.2 – Dragagem de manutenção

É aquela executada para manter a profundidade ao traçado do canal de projeto, ou a calha de corpos hídricos, cuja lâmina d'água é, periodicamente, reduzida devido ao assoreamento propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos em portos e marinas.

Dentre as principais características deste tipo de operação, pode-se citar:

- A remoção de solos não consolidados;
- A possível incidência de contaminantes;

- A atividade repetitiva e rotineira.

2.3 – Dragagem de controle ambiental

A dragagem de controle ambiental, ou somente dragagem ambiental é aquela executada para a remoção de material contaminado para fins de proteção ao ambiente, em particular à saúde humana, e aquelas atividades que visem recuperar a fisiografia de ambientes costeiros e fluviais, ou seja, quando se tem necessidade de corrigir ações efetuadas anteriormente, que resultaram em deposição em locais inadequados de sedimentos contaminados (IADC - International Association Of Dredging Companies, Environmental Aspects of Dredging,Guide 4, 1997).

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 (GE Study Report, 1998).

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 (USEPA, 1994).

Os custos deste tipo de dragagem chegam a ser 5 vezes superior aos custos de uma dragagem convencional, sendo necessários alguns requisitos para que se possa ser considerada eficaz:

- A redução da dispersão de sedimentos contaminados para as áreas adjacentes ao local de dragagem, por meio da diminuição do processo de ressuspensão e redeposição, evitando a saída do material da cisterna pelo vertedor da draga;
- O manejo, tratamento e despejo (disposição) do rejeito de dragagem (tanto água quanto sedimentos) deve ser feito de modo seguro do ponto de vista ambiental;

- A operação deve ser completada no menor tempo possível, resultando na máxima remoção de sedimentos contaminados e na mínima remoção de sedimentos limpos.

3 – MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM

Há uma grande variedade de métodos de dragagem. Alguns envolvem certos requisitos, enquanto outros são mais versáteis. Alguns tipos de dragas podem reduzir a eficiência do processo de dragagem, ou até mesmo serem inadequados para operar em determinados campos.

A escolha cuidadosa do método e do equipamento de dragagem em relação ao seu local de operação podem reduzir sensivelmente os custos da dragagem pela maior eficiência proporcionada e também pela redução dos impactos ambientais gerados por este tipo de trabalho. É importante então o entendimento dos métodos de dragagem durante o projeto e planejamento do trabalho.

Os principais elementos que deverão ser examinados nessa avaliação são os seguintes:

- Características físicas do material a ser dragado
- Volume do material a ser dragado
- Profundidade de dragagem
- Distância da área de disposição do material
- Condições ambientais da área a ser dragada e da área de disposição
- Nível de contaminação dos sedimentos dragados
- Métodos de disposição do material dragado
- Produção estimada dos equipamentos empregados
- Tipos de dragas disponíveis

3.1 – Métodos de dragagem

O objetivo da dragagem é geralmente a remoção do material de um local para outro. Alternativamente, este objetivo pode ser simplificado pela remoção do material de um determinado local e permitir que o mesmo mova-se por forças naturais a outro local.

Esta condição pode ser denominada como “dragagem de agitação” e é o mais simples dos processos de dragagem, na maioria das vezes aplicado em

dragagem de manutenção em sedimentos de granulometria fina e em períodos de vazante. Para esta metodologia de dragagem não é possível o controle preciso de destino do material removido.

É mais comum a disposição dos materiais dragados em áreas pré-determinadas. Neste caso, o material de fundo deve ser removido, alojado e confinado até sua disposição final. Cada elemento deste processo deve ser considerado por uma variedade de opções.

O processo de remoção é muito dependente da densidade e da coesão do material a ser dragado. No caso da presença de rochas, possivelmente será necessário um pré-tratamento para rompimento do material para posterior dragagem. Para a maioria dos casos este pré-tratamento não é necessário, porém a coesão do material de fundo terá influência importante na escolha do método de dragagem.

Se o material tiver baixa coesão, o uso de métodos mecânicos para remoção pode ser não necessário. Nestes casos, métodos de sucção são geralmente bem sucedidos. Este método é bastante aplicado em siltes moles, areias e cascalhos.

Quando a densidade ou a dureza do material forem altas suficientes para tornarem o método de sucção antieconômico, é necessária a adoção de métodos mecânicos para remoção. Estes métodos podem funcionar em conjunto com os métodos de sucção, quando o material é desagregado mecanicamente e removido por aspiração.

3.2 – Tipos de dragas

Existem diversos tipos de draga utilizadas comumente neste tipo de operação, as quais são classificadas em mecânicas e hidráulicas, sendo que cada uma destas possui diferentes tipos de mecanismo e operação.

3.2.1 – Equipamentos mecânicos

As dragas mecânicas são caracterizadas pelo uso de alguma espécie de caçamba para escavar e elevar o material do fundo. Devido à sua simplicidade e à sua semelhança com os equipamentos utilizados em terraplenagem, os equipamentos mecânicos de dragagem foram os primeiros a ser desenvolvidos.

Podem ser classificados nas seguintes categorias:

- ***Caçamba de Mandíbulas (Grab pontoon dredges)***

A caçamba de mandíbulas (Figuras 2 e 3) consiste em um guindaste rotativo montado sobre um pontão flutuante e dotado de uma caçamba acionada por pistão hidráulico da cabine de comando do equipamento. O material pode ser carregado em barcaças independentes ou na própria embarcação.

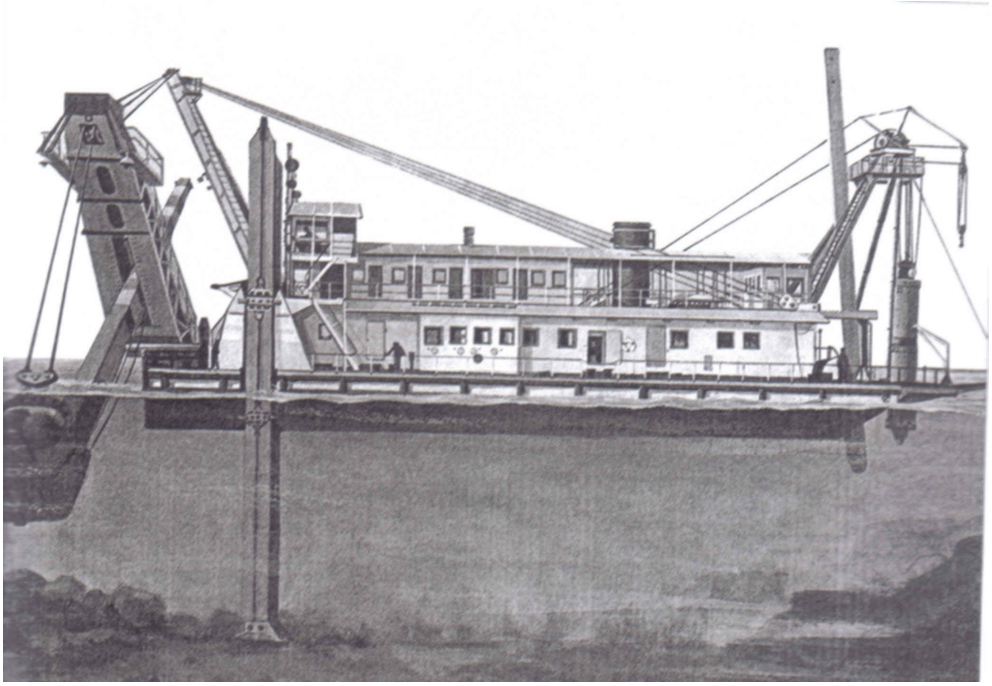


Figura 2– Caçamba de Mandíbulas (Vista Lateral)

Fonte: Alfredini – Obras e Gestão de Portos e Costas, 2005

Figura 3- Caçamba de Mandíbulas

Fonte: Dredge Brokers Website

As dragas de caçambas de mandíbulas apresentam uma série de vantagens:

- Carregam materiais com o mínimo de perturbação e diluição dos sedimentos se comparadas com métodos hidráulicos, e as barcaças podem ser carregadas com uma grande proporção de sólidos.
- O carregamento por caçambas ao invés de bombas reduz enormemente os efeitos adversos causados por sedimentos de grandes dimensões encontrados no material de fundo de rios ou mares.
- As caçambas são mais adequadas para trabalho em áreas confinadas como cais ou em reentrâncias.
- A profundidade de operação das dragas de caçamba é somente limitada pela capacidade do cabo de suspensão da caçamba. É possível, portanto, a dragagem com caçambas de mandíbula em profundidades em que não é possível a utilização de outras dragas de tamanhos semelhantes que requerem estrutura fixa para alcançar o nível de dragagem.
- A vantagem mais importante é que este tipo de equipamento tem habilidade de trabalhar em trechos estreitos.

As desvantagens das dragas de caçamba de mandíbulas são:

- A taxa de produção é relativamente baixa se comparada com a maioria dos outros equipamentos de dragagem.
- Dificuldade na obtenção de leitos finais nivelados perfeitamente.
- A necessidade de retrabalhos pela baixa precisão e a baixa taxa de produção podem resultar em custos unitários muito altos.

- ***Escavadeiras frontais (Dipper dredges) / Retroescavadeiras (Backhoes)***

As escavadeiras frontais ou as retroescavadeiras (Figura 4) são constituídas por caçambas voltadas para frente ou para trás (no caso das retroescavadeiras) do braço rígido ao qual são articuladas, construídas sobre pontões flutuantes. São, praticamente, uma versão adaptada para a dragagem das pás escavadeiras (frontais ou retro), usadas em terraplenagem. Também são acionadas hidraulicamente

através da cabine de comando do equipamento. Os charutos montados nos pontões, fixados ao solo, permitem aumentar o torque de escavação das caçambas.

Figura 4– Ilustração de uma retroescavadeira

Fonte: Jerico Products Website

As vantagens das dragas de escavadeiras são:

- A facilidade em dragar uma grande variedade de materiais, incluindo aqueles que contém pedregulhos ou escombros.
- A facilidade de trabalho em áreas confinadas.
- Sua precisão no controle de posição e profundidade.
- A ausência de âncoras ou cabos auxiliares.
- Perturbação e diluição mínimas do material a ser dragado.
- Ciclos mais rápidos quando comparadas com dragas de caçambas de mandíbulas de tamanhos equivalentes.
- Pela origem “terrestre” das escavadeiras, os principais componentes de maquinário são encontrados com facilidade, reduzindo os custos de manutenção.
- Requer pouca mão de obra para operação.

As desvantagens das dragas de escavadeira são:

- Baixos níveis de produção se comparados com equipamentos em que o processo de dragagem é relativamente contínuo (alcatruzes ou de sucção).
- O nivelamento final da dragagem pode ser irregular dependendo da habilidade do operador ou da variabilidade de materiais encontrados no fundo.

- ***Pás de Arrasto (Draglines)***

A pá de arrasto é constituída por uma caçamba de aço suspensa à ponta de um cabo flexível, ligado a um guindaste móvel, conforme mostram as Figuras 5 e 6. A pá é lançada para frente por movimento circular do guindaste e, após "morder" o solo, é içada pelo cabo em direção ao guindaste, escavando o solo que se deseja remover. Seu funcionamento é semelhante ao das caçambas de mandíbula.

Figura 5- Ilustração do funcionamento de uma Pá de Arrasto

Fonte: USACE Website

Figura 6- Pá de Arrasto em operação

Fonte: The Transportation Institute Website

Suas principais vantagens são:

- A facilidade em dragar uma grande variedade de materiais, incluindo aqueles que contém pedregulhos ou escombros.
- Melhor precisão no controle de posição e profundidade com relação às dragas de caçamba de mandíbulas.
- A profundidade de operação das dragas de caçamba é somente limitada pela capacidade do cabo de suspensão da caçamba.

As desvantagens das dragas de pá de arrasto são:

- Maior perturbação do material dragado, provocando ressuspensão.
- Baixos níveis de produção se comparados com equipamentos em que o processo de dragagem é relativamente contínuo (alcatruzes ou de sucção).

- ***Dragas de Alcatruzes (Bucket dredges)***

A draga de alcatruzes foi a primeira tentativa de se efetuar as operações de dragagem continuamente, sem as interrupções a que as outras dragas mecânicas são obrigadas, pelo ciclo de movimentação das caçambas. Essa draga, representada nas Figuras 7 e 8, é constituída por um rosário de alcatruzes sem fim que, por meio de acionamento mecânico imprimido ao sistema, escava o fundo descarregando lateralmente o material dragado, geralmente em batelões lameiros afixados a contrabordo da draga.

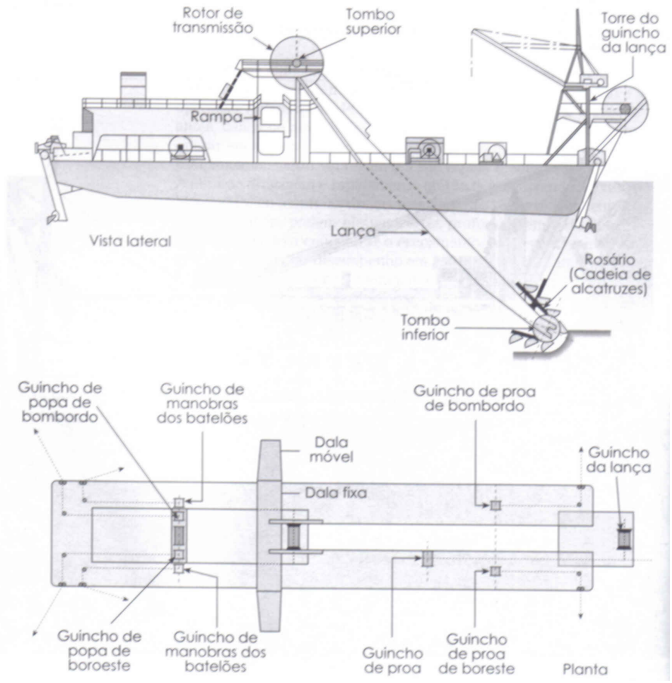


Figura 7- Draga de Alcatruzes (Perfil e Planta Esquemáticos)

Fonte: Alfredini – Obras e Gestão de Portos e Costas, 2005

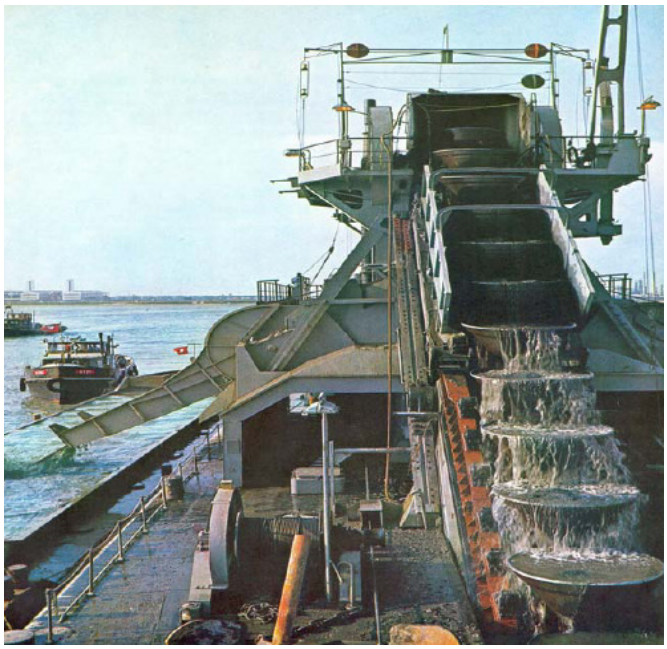


Figura 8- Draga de Alcatruzes em operação

Fonte: Dredging Today - Holland

As vantagens das dragas de alcatruzes são relacionadas a seguir:

- O processo de dragagem é contínuo, o que é único quando comparado com os demais tipos de dragas mecânicas.
- A diluição do material dragado não é significante.
- O processo contínuo de escavação permite uma dragagem uniforme, com bom controle da profundidade.
- Pode ser operada sob condições de ondas moderadas quando dragando materiais leves.

As desvantagens encontradas nas dragas de alcatruzes são:

- Necessidade de ancoragem podendo interromper a navegação do trecho em operação de dragagem.
- Baixa eficiência quando há necessidade de remoção de materiais em baixas profundidades.
- Nível de ruído elevado, se comparado com os outros tipos de dragas mecânicas.
- Quando removendo materiais coesivos, a descarga do material pode não ocorrer adequadamente.

- Os custos de construção das dragas de alcatruzes são mais altos quando comparados com os demais tipos de dragas mecânicas.

3.2.2 – Equipamentos hidráulicos

As dragas hidráulicas são caracterizadas pela misturação e transporte do material dragado em escoamento hidráulico de alta velocidade. Desagregadores mecânicos podem ser usados quando for necessário escavar ou raspar materiais mais consistentes. Uma bomba de dragagem é utilizada para criar a carga hidráulica e escoamento necessários para transportar a mistura bifásica água-solo ao longo da tubulação para seu despejo. As dragas hidráulicas, de desenvolvimento bem mais recente que as mecânicas, são mais eficientes, versáteis e econômicas que aquelas, obtendo rendimentos, normalmente, muito mais elevados nas operações, que se processam de forma contínua.

Podem ser classificadas nas seguintes categorias:

- ***Draga estacionária de sucção e recalque***

As dragas estacionárias de sucção e recalque (Figuras 9 e 10) são a forma mais simples de draga hidráulica. São, em geral, dotadas de duas lanças laterais que permitem o lançamento e içamento dos puxões laterais para movimentação da draga. Esses dispositivos são constituídos por âncoras que são fixadas lateralmente ao fundo, conectadas a cabos e guinchos localizados nas dragas. Os puxões permitem a movimentação para um lado e para outro da parte frontal do equipamento. Enquanto se faz essa movimentação, a parte posterior da draga gira em torno de um dos charutos, fixado ao fundo, servindo de charneira para o deslocamento da parte frontal do equipamento.

A draga estacionária de sucção e recalque com desagregador é a mais comum e versátil draga hidráulica. Esta draga é equipada com um desagregador rotatório que é um escavador que envolve a boca da linha de sucção. O desagregador escava e translada os dragados para a área de influência do escoamento de alta velocidade na boca de sucção, aonde os sedimentos são misturados, passando pela bomba da draga para a linha flutuante e ou terrestre de recalque e para a área de despejo.

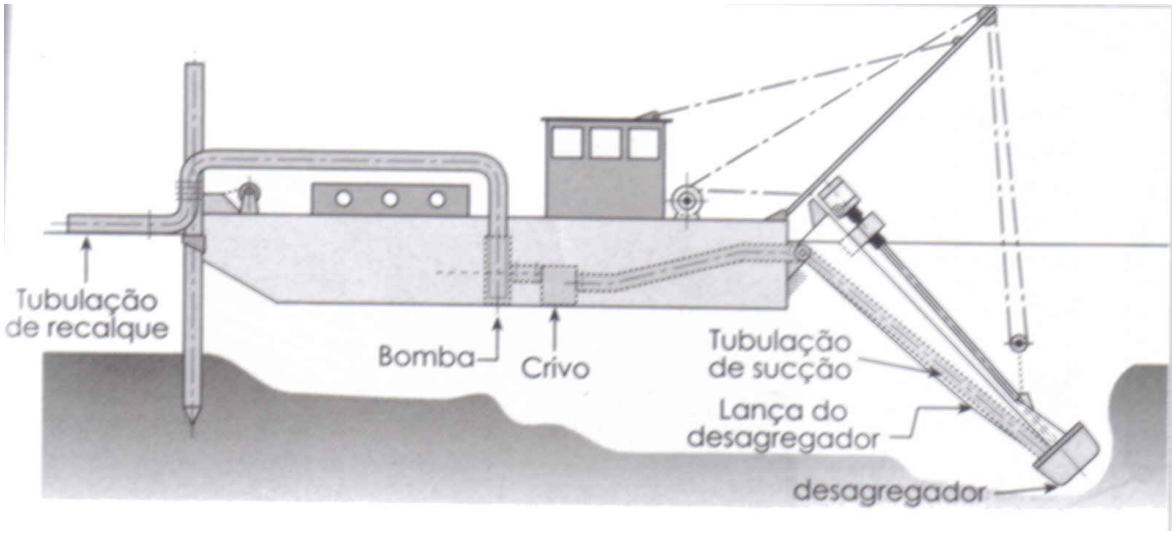


Figura 9- Draga de Sucção e Recalque (Perfil Esquemático)

Fonte: Alfredini – Obras e Gestão de Portos e Costas, 2005

Para minimização dos efeitos de ressuspensão causados pelos desagregadores mecânicos que poderiam ocasionar impactos ambientais indesejáveis, foram desenvolvidos alguns tipos de desagregadores especiais. Nos casos usuais de dragagem, existem três tipos básicos de desagregadores (Figura 11): A – os de lâmina lisa – para materiais pouco agregados; B – os de lâmina serrilhada – para materiais mais duros; C – os de lâmina dentada – para dragagem de materiais de alta resistência ao corte, tipo rochas decompostas ou brandas.

Figura 10- Draga de Sucção e Recalque com tubo de sucção suspenso mostrando detalhe do desagregador

Fonte: Dredge Brokers Website

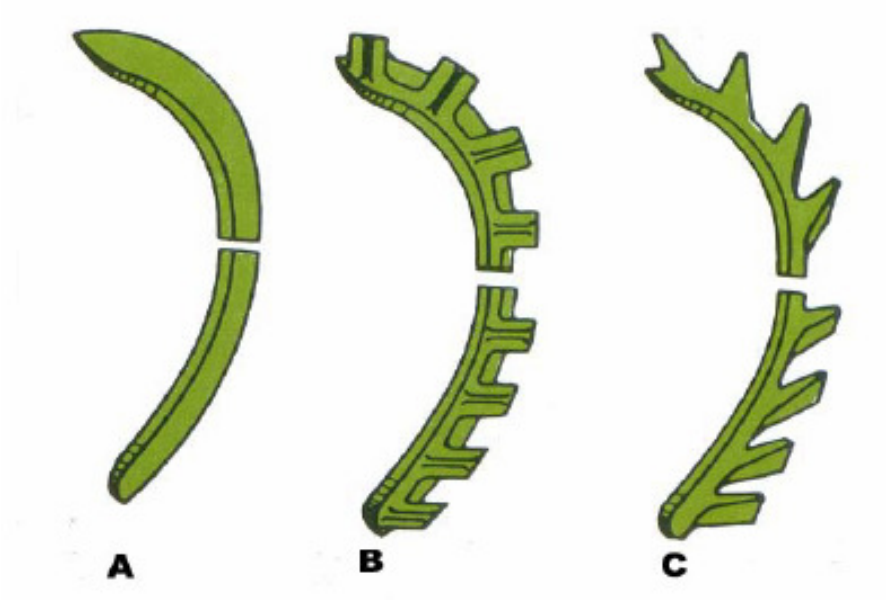


Figura 11- Tipos de Lâminas de Desagregador

Fonte: Dredger Components – IHC

Alguns equipamentos utilizados na execução de serviços de dragagem ambiental são dotados de desagregadores especiais, de forma helicoidal ou de disco, destinados a causar o mínimo de dispersão nos sedimentos a serem dragados do fundo. O desagregador helicoidal, como mostra a Figura 12, possui uma tampa superior que funciona arriada, durante a operação de dragagem, a fim de evitar a dispersão dos sedimentos dragados.

Figura 12- Desagregador helicoidal utilizado em dragagens ambientais

Fonte: TERRA ET AQUA – nº 77, 1999

O desagregador de disco giratório funciona com suas lâminas na posição vertical, enterradas nos sedimentos a serem dragados, sendo fechado na parte inferior e superior por duas placas circulares, que funcionam na horizontal.

- ***Draga autotransportadora de sucção e arrasto (trailing suction ou hopper)***

A draga autotransportadora de sucção e arrasto (Figuras 13 e 14) consiste numa embarcação marítima autopropelida em que os dragados são armazenados na cisterna (hopper) para despejo posterior. As cisternas são geralmente esvaziadas através de portas de fundo quando a draga chega ao local onde vai descarregar. As portas de fundo mais empregadas são as válvulas de formato cônico, tendo acionadas suas aberturas a partir da cabine de comando das dragas, no momento da descarga. As dragas modernas também têm possibilidade de descarga das cisternas através do bombeamento do material ali retido, para contrabordo das

dragas. A configuração mais comum dispõe de duas tubulações articuladas em cada bordo do casco próximo ao centro de flutuação para minimizar o efeito do estado do mar, como mostra a Figura 15. Cada tubulação tem sua própria boca de dragagem (drag head) para contato com o fundo, que normalmente está acoplada à sua própria bomba. As bocas de dragagem também podem ser complementadas com acessórios para desagregar o material de fundo.

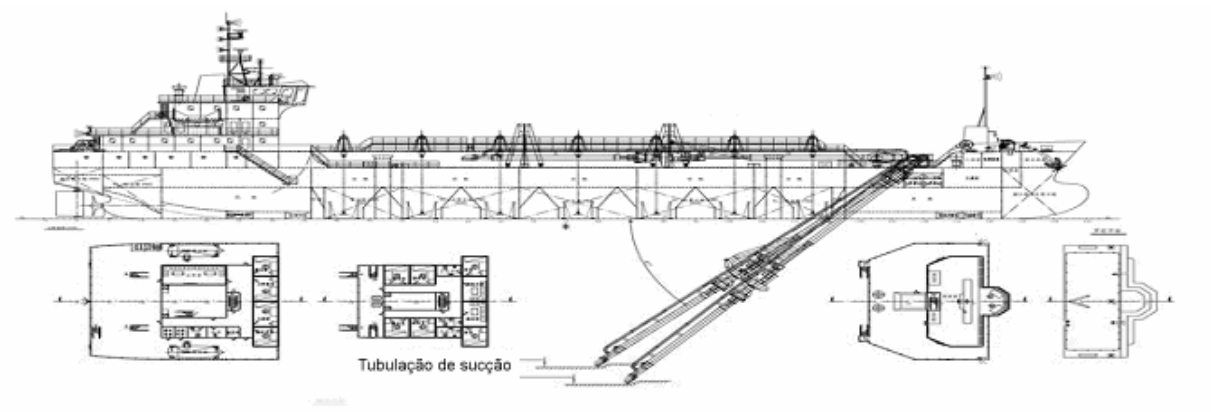


Figura 13- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto (Perfil Esquemático)

Fonte: Dredge Brokers Website

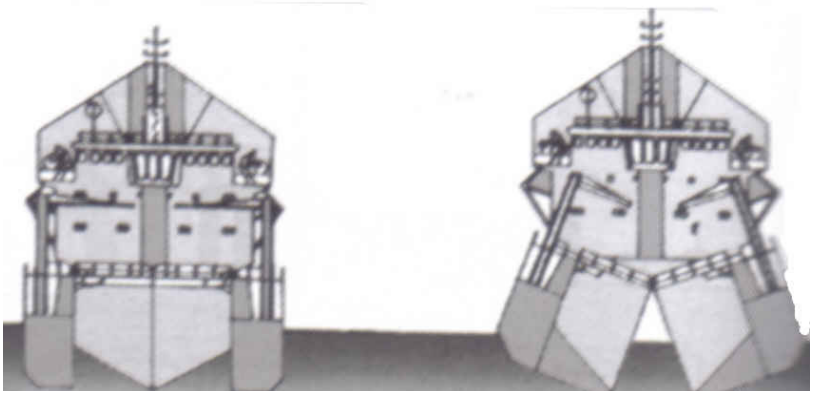


Figura 14- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto (Vistas Frontais)

Fonte: Alfredini – Obras e Gestão de Portos e Costas, 2005

Alguns dispositivos introduzidos nas dragas autotransportadoras proporcionaram maior eficiência para as mesmas. As autotransportadoras atuais são de manobrabilidade, ocupando um mínimo de espaço nas movimentadas áreas portuárias. Outro dispositivo notável no desenvolvimento das autotransportadoras é o compensador de onda (swell compensator), que mantém constante a tensão nos cabos que sustentam os tubos de sucção, permitindo a continuidade das operações mesmo em locais onde haja ondulação de uma certa intensidade ou mesmo em locais onde o leito não é plano.

Figura 15- Draga Autotransportadora de Sucção e Arrasto com detalhe para a tubulação de sucção recolhida

Fonte: Dredge Brokers Website

Dentre as principais vantagens na operação deste tipo de equipamento, pode-se citar a possibilidade de operação sob efeitos de ondas mais adversos, a baixa interferência sobre a navegação, a facilidade de transporte do material dragado a grandes distâncias e as altas taxas de produtividade.

3.2.3 – Equipamentos alternativos de dragagem

Existem inúmeros processos de dragagem por agitação ou arrasto, além de outros não convencionais.

Dentre estes, podemos citar a draga de injeção de água. Este método foi desenvolvido e explorado comercialmente durante a década de 80 na Holanda. Seu funcionamento consiste na injeção de água em solos de sedimentos moles para a criação de uma mistura bifásica de menor densidade, que tende a se deslocar pelas correntes, afastando-a da área de dragagem.

- ***Draga Jet Pump***

A bomba à jato (Figura 16) pode ser incorporada a qualquer draga que trabalha com o principio de sucção, porém é mais comumente utilizado em dragas de sucção estacionárias. Essencialmente ela consiste num sistema de alta pressão

de água que injeta um jato de água por uma seção próxima à tubulação de sucção. A boca adicionada ao sistema por este jato auxilia na suspensão da mistura sólido-água para uma altura ideal para a sucção. Suas vantagens incluem a facilidade de dragagem em grandes profundidades, o risco reduzido de entupimento da tubulação quando a descarga é feita por uma tubulação longa e a redução de custos com materiais abrasivos. Porém ocorre uma significante queda de produtividade quando comparada com sistemas de bombas centrifuga.

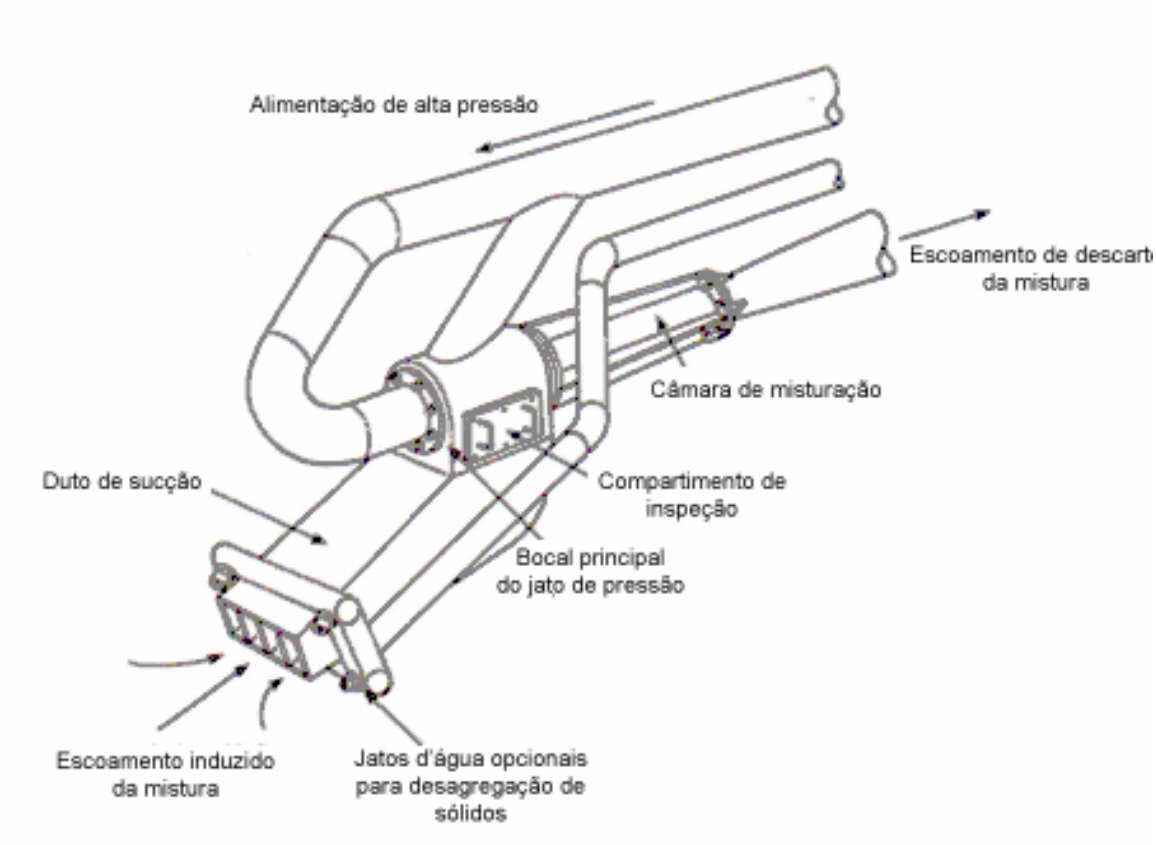


Figura 16- Esquema de funcionamento da Bomba à Jato

Fonte: Handbook of Dredging Engineering – McGraw-Hill – 2000

- **Air-lifts**

Consiste na injeção de ar comprimido por uma tubulação submersa que chega até ao leito a ser dragado, resultando na redução da densidade da mistura ar-água próxima à tubulação. Sólidos muito finos podem ser erodidos e carreados em suspensão por esta mistura. Este sistema obtém um bom rendimento quando trabalha em altas profundidades e com solos de granulometria fina.

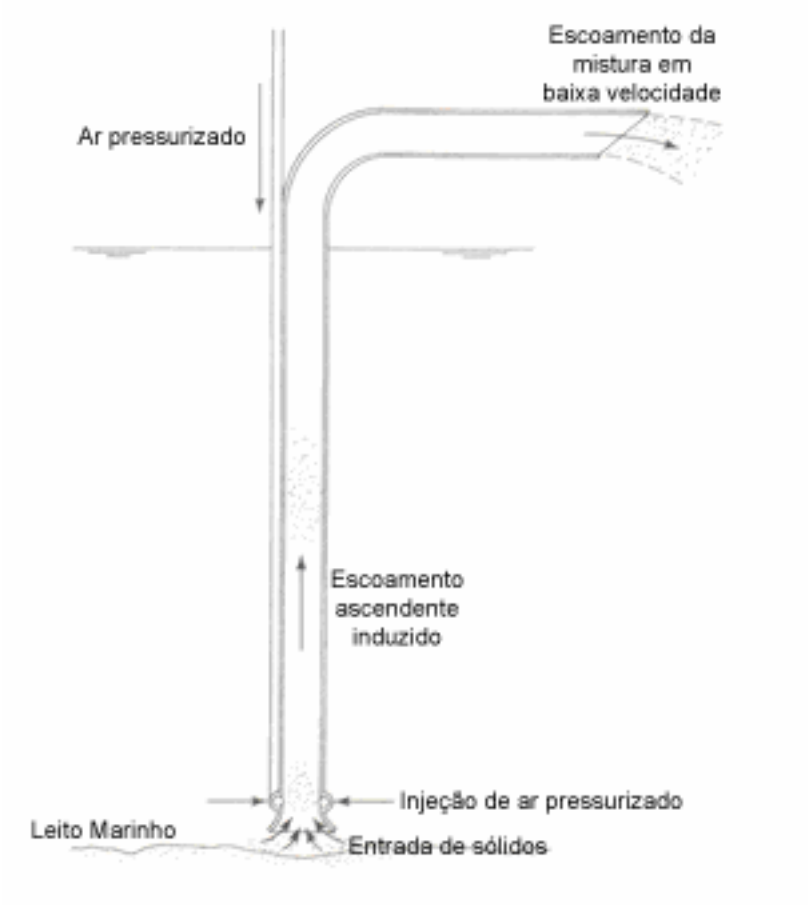


Figura 17- Esquema de funcionamento do Air Lift

Fonte: Handbook of Dredging Engineering – McGraw-Hill – 2000

- ***Dragas pneumáticas***

A dragagem de sedimentos poluídos pode provocar danos ambientais pela dispersão desses sedimentos nos corpos hídricos. As dragas pneumáticas podem minimizar esse problema podendo ser usadas com vantagem em depósitos onde o material a ser dragado não necessite de corte por meios mecânicos.

As dragas pneumáticas não utilizam desagregadores e promovem a sucção do material a ser dragado por ar comprimido, podendo efetuar dragagens ambientais praticamente sem turbidez de contaminantes.

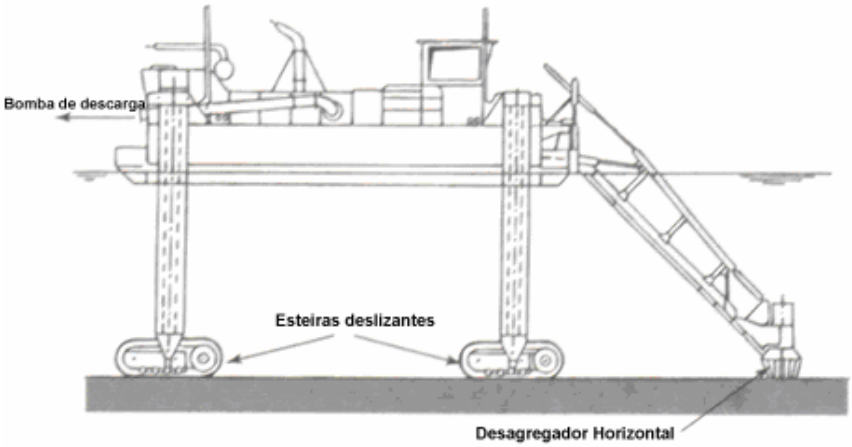
Elas são compostas por uma ou mais câmaras que são evacuadas pelo uso do ar comprimido que chega da superfície. Abrindo-se uma válvula na câmara, a lama escoa para dentro daquela por pressão hidrostática. Quando cheia, o ar comprimido é injetado na câmara de maneira que a lama armazenada seja eliminada por uma tubulação que chega até a superfície. Quando esvaziada a câmara, o ar

comprimido é suprimido, fazendo com que a lama escoe novamente para dentro da câmara por pressão hidrostática.

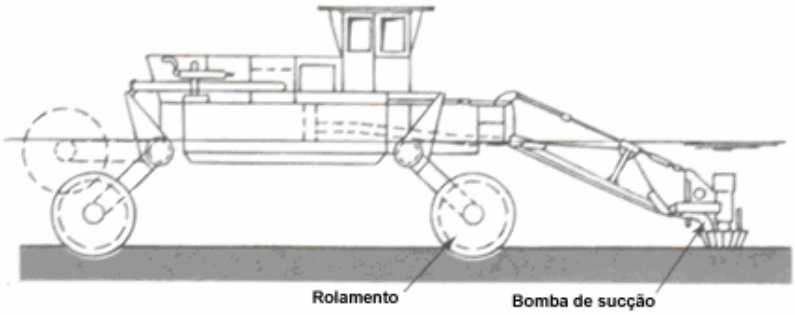
As dragas pneumáticas são utilizadas com excelentes resultado no caso de dragagens que requeiram cuidados ambientais especiais, principalmente com materiais contaminados.

- ***Dragas anfíbias***

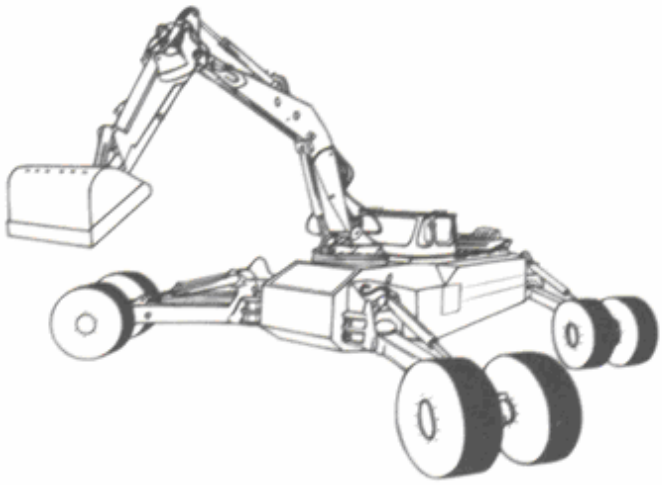
Geralmente estas dragas são utilizadas em canais de baixa profundidade, podendo moverem-se tanto na água quanto na terra, proporcionando um ganho de produtividade. As dragas anfíbias podem ser mecânicas ou hidráulicas, como mostra a Figura 18, tendo o principio de funcionamento semelhante ao das dragas já citadas. O maior benefício deste tipo de equipamento é que os mesmos podem transpor estruturas que restringem o curso d'água, principalmente na manutenção de canais.



Draga Crawl Cat - com esteiras (IHC - Holland)



Draga Roll-cat - com rolamentos (IHC - Holland)



Draga com pernas articuladas (IHC - Holland)

Figura 18– Dragas Anfíbias

Fonte: Handbook of Dredging Engineering – McGraw-Hill – 2000

4 – A DRAGAGEM E SEUS EFEITOS POTENCIAIS NO MEIO AMBIENTE

Com base no diagnóstico ambiental das áreas de influência, na análise integrada dessas informações e nas características da implantação e operação de um empreendimento proposto, de modo a permitir um prognóstico da situação resultante, é possível a identificação das atividades que, durante as fases de implantação e operação da dragagem, podem interagir com cada um dos fatores componentes do ambiente, de forma positiva ou negativa.

Isto possibilita uma avaliação do impacto resultante em cada meio (físico, biótico e socioeconômico), pela execução de todas as ações envolvidas nas atividades identificadas, nas várias fases de implantação e na operação do empreendimento, assim como permite identificar as medidas preventivas, mitigadoras e / ou compensatórias que possam ser adotadas.

Os efeitos potenciais adversos e benéficos da dragagem e suas operações relacionadas podem ser classificados de acordo com a natureza da atividade:

- Dragagem (escavação);
- Transporte de material dragado;
- Relocação de materiais dragados on-shore;
- Relocação de materiais dragados off-shore.

Eles também podem ser classificados em efeitos de curta duração, durando somente no decorrer dos trabalhos e efeitos de longa duração ou permanentes.

Para que se possa ser avaliado o impacto ambiental, é necessário que sejam examinados os seguintes aspectos:

- Área do impacto;
- Tipos de impacto;
- Intensidade do impacto;
- Controle do impacto (procedimentos mitigadores).

Os principais efeitos das obras de dragagem em diferentes áreas podem ser ordenados como a seguir.

4.1 – Efeitos Potenciais Adversos

Interferência com o tráfego marítimo

Dragas estacionárias podem obstruir o tráfego marítimo. Tubulações flutuantes também podem ser obstrutivas e o transporte por barcaças aumentará o tráfego marítimo. Este é um efeito de curta duração inevitável, mas que pode ser minimizado, se necessário, pela seleção adequada de dragas e métodos de transporte ou, em alguns casos, pelo estabelecimento de sistemas de regulação do tráfego.

Ruído ocasionado pela dragagem

A maioria das atividades de dragagem produzem pouco ruído se comparadas com qualquer outra atividade de construção. Entretanto, as dragas de alcatruzes podem ser particularmente ruidosas dependendo do tipo de material do fundo. Nos casos em que as operações de dragagem ocorrem à noite, os efeitos são ainda maiores, pois neste período os níveis de ruído do ambiente são mais baixos.

Turbidez e suspensão de sedimentos

A dragagem pode ressuspender sedimentos na coluna d'água durante a escavação ou o transporte por hoopers e barcaças. Conforme relatado por Lessa, C. , Teixeira, C.E.P. e Castro, C. B.(2005), em janeiro de 2002 foi iniciado um projeto de dragagem do delta de maré vazante defronte ao Canal do Tomba para a construção de uma via de acesso ao terminal de barcaças da Aracruz Celulose. Devido à proximidade das áreas de operação dos parcéis carbonáticos (algas e corais) mais internos, o IBAMA estabeleceu como condicionante ao empreendimento um programa de monitoramento da circulação de água, da concentração de sedimentos em suspensão, e da taxa de sedimentação nos parcéis, de forma a monitorar a extensão espacial de possíveis impactos associados à dispersão da pluma de sedimentos gerada pela operação de dragagem. Os dados de turbidez obtidos foram convertidos em Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS – mg/l) aos quais foram estabelecidos critérios para balizar as atividades de dragagem e descarte do acesso ao Canal do Tomba em relação às seguintes classes de operação:

- Normal: Normal andamento das operações de dragagem e descarte.

- Alerta: Atenção quanto à evolução dos níveis de CSS obtidos nos monitoramentos. Continuidade das operações de dragagem e descarte sem maiores restrições.
- Risco Iminente: Análise intensiva dos dados de concentração de sólidos em suspensão CSS e oceanográficos (ondas e correntes). Possível paralisação das operações de dragagem e descarte e/ou continuidade com maiores restrições (e.g. redução temporária no numero de ciclos, determinação de horários descarte de acordo com as marés e direção das correntes, etc).
- Paralisação: Paralisação das operações de dragagem e descarte até o restabelecimento dos níveis normais de Concentração de Sólidos em Suspensão nos ondógrafos.
- Reinício: Normal andamento das operações de dragagem e descarte.

Erosão costeira

O aprofundamento de áreas próximas à costa pode causar o aceleramento da erosão costeira resultante das modificações no regime hidrodinâmico. As zonas dragadas ficam em desequilíbrio dinâmico, tendendo a ser assoreadas de novo a curto ou médio prazo, o que obriga a novas operações de dragagem. Em geral, quando as zonas dragadas se localizam na parte externa do estuário, acabam por ser colmatadas com areias provenientes do transporte litorâneo. Assim, estas dragagens diminuem ou inibem a transferência de areias para o litoral. Em outras palavras, frequentemente as operações de dragagem não só são responsáveis pela inibição do abastecimento sedimentar litoral, como também retiram do transporte litorâneo parte dos sedimentos que aí transitam. No caso de dragagens de manutenção regulares, a remoção de sedimentos do sistema de transporte de sedimentos litorâneo pode privar áreas costeiras subseqüentes de sedimentos necessários para a manutenção da estabilidade costeira.

Segundo Angulo et al., 2004, as dragagens, para ampliar e manter os canais de acesso aos portos de Paranaguá e São Francisco do Sul, parecem ser as responsáveis por importantes e rápidas modificações na zona costeira e por sérios problemas de erosão costeira nos litorais dos Estados do Paraná e de Santa Catarina. Na Ilha do Mel, uma extensa área se formou, provavelmente como resultado do despejo de areia de dragagem do canal de acesso ao porto de

Paranaguá (Figura 19), que mudou o padrão de refração de ondas na área e vem causando intensos processos de erosão na costa localizada a norte (Figura 20). As dragagens do canal de acesso ao porto de São Francisco do Sul parecem ser as responsáveis pelo intenso processo erosivo que vem ocorrendo nas costas do município de Itapoá. Ademais, geralmente, o material dragado é despejado em áreas profundas fora do alcance de ação das ondas perdendo-se do sistema costeiro.

Figura 19- (A) Extensa área de planície costeira formada nas décadas de 80 e 90 (B) Localização aproximada da linha de costa no início da década de 80

Fonte: ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros

Figura 20– Erosão ao norte do Istmo na Ilha do Mel em Setembro de 2003.

Fonte: ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros

Pesca

Atividades de dragagem podem alterar ou até mesmo interromper atividades pesqueiras. Segundo Robert, M C, Procopiak, L K e Fonseca, A R D, 2007, em seu

estudo sobre os impactos das dragagens na pesca artesanal das baías de Paranaguá a Antonina (PR), a maioria dos peixes foge aos sons, à turbidez e à movimentação da água gerada pelas dragas. Inevitavelmente algumas espécies demersais ou bentônicas, mais lentas ou com hábito sedentário ou séssil, são sugadas pela draga e morrem. Eventualmente, a ressuspensão de sedimentos também causa a morte de alguns peixes por asfixia. Se o leito do ambiente afetado pela dragagem não for alterado, as mesmas espécies de peixes que freqüentavam o local anteriormente voltam a freqüentá-lo, geralmente em algumas semanas após o término da dragagem. Se a profundidade for alterada, as espécies de peixes que vêm freqüentar o novo ambiente não são as mesmas. Em locais onde a profundidade é aumentada pela retirada de materiais, os peixes que freqüentam locais de baixa profundidade passam a não mais estar presentes nestes locais e os peixes de maiores profundidades passam a freqüentar. Desta forma, quando um ambiente tem sua profundidade aumentada a pescaria que almeja alvos de ambientes rasos é prejudicada, mas por outro lado, para uma que almeja alvos de regiões mais profundas, é melhorada. Há espécies também que morrem durante e após o término das dragagens, provavelmente por asfixia ou contaminação proveniente da ressuspensão dos sedimentos, demorando de 2 a 3 anos para que se reestabeleçam.

Estagnação

O aprofundamento, particularmente se resultar na criação de depressões marinhas fechadas como as que são em certos casos criadas durante a exploração off-shore para recursos de preenchimento, pode levar a condições anaeróbicas.

Demanda de oxigênio

A turbidez e a ressuspensão de sedimentos nas proximidades de dragas trabalhando em materiais contaminados ou orgânicos estão sempre relacionadas a um significante, porém localizado, aumento na demanda de oxigênio. Na maioria dos casos de dragagem em águas abertas este efeito é pequeno, mas adquire maior proporção em peixes ou outros organismos quando a dragagem é feita em áreas confinadas.

Cunha de intrusão salina

O fluxo hidrodinâmico em áreas estuarinas é essencialmente condicionado por um movimento de duas massas de água de densidades diferentes. A água do mar, mais pesada devido aos sais em dissolução penetra no canal como uma cunha, empurrando a água doce, mais leve, para a montante. O aprofundamento de leitos marinhos em estuários estratificados pela modificação da geometria destas áreas altera o regime das correntes, propiciando maior facilidade na circulação da água e, por conseqüência, resultando no avanço da cunha salina por estes estuários, assim como relatado no estudo de expansão do Porto de Santos do Consórcio OESA - KING AND GAVARIS, TECNOSAN de 1970, em que a abertura do canal da COSIPA, localizado 18 km a montante do estuário proporcionou um aumento substancial da salinidade no rio Cubatão, demonstrando assim o avanço da cunha salina no canal.

4.2 – Efeitos Potenciais Benéficos

Além dos benefícios da criação, manutenção e melhoramento de portos e canais de navegação, as atividades de dragagem apresentam outras possibilidades de benefícios ao meio ambiente.

Sedimentos contaminados

Sedimentos contaminados podem ser removidos para uma disposição segura ou mesmo capeados *in situ* com materiais limpos, como é o caso do CDF (Confined Disposal Facilities – Instalações de Disposição Confinada), que trata-se de uma obra para contenção do material dragado contaminado, devendo maximizar a eficiência na retenção de sólidos (EPA/USACE, 1992), produzindo mínimo efeito possível à saúde humana e ao meio ambiente. O projeto, implantação e operação de um CDF são apresentados com maiores detalhes no Capítulo 7.

Alimentação de praias

Basicamente o equilíbrio em praias sem alimentação artificial classifica-se como estático e em praias com alimentação artificial como dinâmico (The National Academy of Sciences, 2000).

A dragagem é freqüentemente o método mais econômico para alimentação de praias e materiais indesejados resultantes da dragagem sempre podem ser considerados para uso em alimentação de praias se a distância da operação com a praia for razoável. Mesmo nos casos em que um campo de espigões se apresente como solução eficaz, a aplicação em complemento da alimentação artificial traz vantagens (Vera Cruz, 1972).

Se em muitos casos, a alimentação artificial é uma forma de intervenção desejável, em outros ela é imprescindível. Assim, se por necessidades de expansão urbana, se tornar recomendável ocupar sobre uma praia em equilíbrio estático uma faixa de largura tal que quebre o equilíbrio, a solução, querendo preservar-se a praia, é formar por alimentação artificial, uma nova praia com largura suficiente ao longo do novo contorno urbano.

Os meios utilizáveis na alimentação, ou na criação artificial de praias, classificam-se em dois grupos principais: meio de transporte terrestre e meio de transporte hidráulico.

A alimentação por transporte terrestre é feita, por lançamento direto sobre a praia, utilizando caminhões, sendo por isso de fácil execução. O rendimento da operação é porém relativamente reduzido, pois é feita, geralmente, quando se fala em volumes pequenos (da ordem de centena de milhar de metros cúbicos). A aplicação do processo é ainda condicionada pela maior ou menor dificuldade de acesso à zona a alimentar, e pelos inconvenientes que o tráfego dos caminhões pode trazer.

Quando os volumes a movimentar são grandes, a alimentação por meios hidráulicos é particularmente recomendável. O processo envolve mobilização de equipamento especializado e tecnologia apurada.

O material a utilizar na alimentação artificial de uma praia deverá ter características físicas análogas ao material que já existe na praia. Deverá ser dada especial atenção à curva granulométrica da areia - supondo o caso mais comum de praias de areia - já que os perfis transversais de praias são muito sensíveis a granulometria do material. A pesquisa da fonte de material a utilizar pressupõe a caracterização da areia existente porém, nem sempre, se encontra, nas imediações da praia, areia com as características ideais, e a escolha final da fonte acaba sempre por resultar da ponderação de fatores técnicos e econômicos.

Qualquer que seja o processo de alimentação, pode-se considerar dois métodos distintos, quanto à forma como se faz a distribuição da areia: a distribuição contínua e a distribuição pontual. Na primeira, cada faixa da praia é alimentada até atingir ali a largura prevista, o que obriga a deslocar gradualmente o local de lançamento da areia; no segundo, o volume total do material é distribuído por um ou mais pontos, onde se acumula, deixando-se à ação das ondas o trabalho de fazer a sua distribuição, com auxílio, ou não, de equipamento de terraplanagem.

Quando a fonte do material de alimentação encontra-se sub-aquática, são necessárias duas operações principais, a recolha do material por dragagem e o transporte do material até à zona a alimentar.

A operação de dragagem pode ser mecânica (draga de alcatruzes ou retroescavadeira) ou hidráulica (sucção).

A deposição do material dragado na zona a alimentar pode ser feita em uma ou mais etapas, sendo a solução adotada em cada caso função de diferentes fatores, a começar pelo tipo de draga utilizada.

Se utilizar a dragagem mecânica, a solução comum é recolher os dragados em batelões (auto-propulsionados ou não), e fazer chegarem os batelões até às proximidades da zona a alimentar, onde são descarregados. Se o calado dos batelões for pequeno, poderá não haver necessidade de movimentar o material descarregado para mais perto da zona a alimentar. Caso contrário, o material depois de descarregado é novamente movimentado, geralmente por bombeamento hidráulico, para cotas mais altas da praia.

Se a dragagem for hidráulica, os meios de transporte até à zona a alimentar são variados, condicionados agora pela distância da fonte de material à zona de deposição final, e ainda pelo tipo de draga hidráulica e pela maior ou menor agressividade do clima marítimo (ondas e correntes), e pelos ventos.

Um caso clássico desta forma de reutilização do material dragado é do engordamento da praia de Copacabana – RJ, em que os objetivos principais do projeto eram o de construir um sistema eficaz de captação de esgoto sanitário da região e o de se controlar as ressacas provocadas por ondas que periodicamente assolavam a praia, ocasionando sua erosão e grande deposição de areia na pista de rolamento da orla da praia. Neste empreendimento obteve-se um alargamento médio de praia de 80 metros nos 3.700 metros de sua extensão, utilizando-se um total de 3.500.000 m³ de areia provenientes de dragagens realizadas na enseada de

Botafogo, transportado tanto por equipamentos de sucção e recalque quanto por batelões.

Agregados

Dragagem é o principal método de exploração de areia e pedregulhos marinhos para a indústria da construção e diminuem os impactos adversos causados pela exploração em terra.

Proteção costeira

Assim como uma dragagem mal planejada pode causar a erosão costeira, um bom planejamento de dragagem pode melhorar a proteção costeira através da alimentação de praias e a construção de diques e dunas artificiais.

Qualidade da água

Segundo Torres, R J em "Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS", 2000, as atividades de dragagem podem, em alguns casos, aumentar a quantidade de oxigênio e nutrientes presentes no sedimento, sendo liberados na coluna d'água. A eutrofização também pode ser controlada ou eliminada. Alguns tipos de dragas podem ser modificadas para permitir a fixação de fosfatos no sedimento de fundo através da adição de cal, sendo esta uma forma barata e efetiva de melhorar a qualidade da água em lagos sujeitos ao aporte de fertilizantes ricos em nitratos utilizados por fazendeiros.

5 – ASPECTOS LEGAIS

5.1 – Legislação Brasileira

As crescentes pressões da sociedade e o avanço da consciência ambientalista que floresceram em virtude dos impactos ecológicos, econômicos e sociais, face à implantação dos mais diferentes tipos de empreendimentos, constituíram-se, em determinados países, em fatores fundamentais para a adoção de práticas adequadas de gerenciamento ambiental (Reis, J.L.B.C. – Licenciamento Ambienta, 1999l).

No Brasil, as ações voltadas ao gerenciamento ambiental iniciaram-se a partir de 1972 com a Convenção de Estocolmo, culminando com a implantação de políticas e princípios na forma de uma legislação específica, estabelecendo as diretrizes básicas do licenciamento ambiental, sendo este uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade que potencialmente gerará impactos sobre o meio-ambiente. A política ambiental brasileira contempla um dos instrumentos mais importantes em termos de prática conservacionista – o Licenciamento Ambiental, instituído pela Lei n° 6.938/81, ao qual estão condicionados a construção, a instalação e a ampliação de empreendimentos e atividades considerados efetiva ou potencialmente poluidores.

Somado a isto, a Resolução CONAMA nº 001/86 estabelece diretrizes gerais para apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA nos processos de licenciamento ambiental, definindo ainda critérios para sua aplicação. O EIA não é o único estudo ambiental considerado no processo de licenciamento, mas se constitui em importante componente das decisões referentes à implementação de projetos, devendo ser apresentado na fase de planejamento, pesquisa e levantamentos da atividade, com o objetivo de verificar a viabilidade ambiental para a localização do empreendimento. Em complemento, a Resolução CONAMA nº 237/97 tem como principal objetivo a regulamentação das competências do licenciamento ambiental, o estabelecimento de procedimentos nas suas fases, de prazos de análise e manifestação do licenciador e o prazo de validade para cada licença.

Cabe ao IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis juntamente com os Órgãos Estaduais e Municipais de Meio

Ambiente, o licenciamento de atividades e obras com efeitos potenciais sobre o meio ambiente.

O processo de licenciamento é dividido em três fases: Licença Prévia -LP, Licença de Instalação - LI e Licença de Operação LO.

A Licença Prévia é o documento solicitado pelo empreendedor na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade para concessão e aprovação sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a ser atendido nas próximas fases de sua implementação. Após sua análise, o órgão licenciador define as condições básicas a serem atendidas para a localização do empreendimento, em respeito aos planos municipais, estaduais ou federal de uso do solo. Sua concessão não autoriza a execução de quaisquer obras destinadas à implantação do empreendimento.

A Licença de Instalação é o documento solicitado pelo empreendedor ao órgão licenciador antes da implantação do empreendimento. A solicitação da LI é condicionada à apresentação do projeto detalhado do empreendimento, nele constando todos os Programas Ambientais, Planos de Monitoramento identificados no EIA/RIMA, bem como o atendimento a todas as exigências feitas na LP. Sua concessão implica no compromisso do interessado em manter o projeto final compatível com as condições de seu deferimento.

A Licença de Operação é o documento concedido pelo órgão ambiental competente, devendo ser solicitado antes de o empreendimento entrar em operação. Sua concessão está condicionada à vistoria, teste de equipamentos outros meios de verificação técnica e no compromisso do interessado em manter o funcionamento dos equipamentos de controle de poluição, pelos programas de controle ambiental. Uma vez concedida a LO, o órgão ambiental deverá renovar a licença periodicamente após realizar vistoria do empreendimento, para verificar a execução e os resultados dos programas e monitoramentos ambientais.

No que se refere às atividades de dragagem, a avaliação do material dragado e a seleção de alternativas de disposição de material dragado são regulamentadas na legislação brasileira pela NORMAM 11/DPC (Norma da Marinha do Brasil) que dispõe sobre “Procedimentos para Solicitação de Parecer para Realização de Obras sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras”, e pela Resolução CONAMA Nº 344/04, que dispõe sobre diretrizes gerais para a

avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, visando o gerenciamento de sua disposição.

No Art. 3º desta Resolução é dito que *"Para efeito de classificação do material a ser dragado, são definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis, conforme procedimentos estabelecidos no Anexo desta Resolução:*

I – NÍVEL 1: limiar abaixo do qual espera-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota.

II – NÍVEL 2: limiar acima do qual espera-se um provável efeito adverso à biota.

§ 1o Os presentes critérios fundamentam-se na comparação dos resultados da caracterização do material a ser dragado, com os valores orientadores previstos na TABELA III do Anexo desta Resolução, a fim de orientar o gerenciamento da disposição do material dragado no procedimento de licenciamento ambiental."

A Resolução 344/04, contida no Anexo I deste trabalho, deve ser tomada como referência na elaboração e avaliação dos projetos de dragagem e seu gerenciamento para obtenção da licença ambiental, pois a mesma fornece os procedimentos mínimos para a avaliação da qualidade do material dragado a ser disposto em águas jurisdicionais brasileiras. No entanto, deve-se atentar que outros instrumentos legais estão disponíveis, os quais permitem a abordagem de aspectos não mencionados na Resolução, sendo que somente a integração das informações oriundas de diversos requisitos legais permitirá o licenciamento ambiental com a abrangência necessária.

5.2 – A modernização dos portos brasileiros

A Lei nº 11.518, de 05 de Setembro de 2007, proporcionou a criação da Secretaria Especial de Portos com o objetivo de formular políticas e diretrizes para o desenvolvimento e o fomento do setor portuário e promover, executar e avaliar medidas, programas e projetos de apoio ao desenvolvimento sustentável da infra-estrutura e da superestrutura dos portos e terminais portuários marítimos outorgados às Companhias Docas.

A partir da criação desta Secretaria e pela necessidade de modernização dos portos nacionais em razão do assoreamento progressivo dos portos; da grande

evolução da movimentação de cargas com o aumento da economia de escala; do aumento do porte e dimensões dos navios e da necessidade de incremento da segurança da navegação, foram programados investimentos através do PAC da ordem de R$ 2,7 bilhões até 2010, sobretudo na aplicação do Programa Nacional de Dragagem.

O objetivo maior deste Programa é o de assegurar a sustentabilidade ambiental na gestão portuária com a criação do Processo de Licenciamento Ambiental para todas as obras portuárias, além das licenças para operação e manutenção das atividades portuárias.

Neste programa, 11 dos principais portos brasileiros receberão investimentos em modernização, projetando-se um aumento da cota conforme a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Projeção de aumento de cota dos portos brasileiros

Porto	Cota em 2009 (m)	Cota Projetada (m)	Dragagem (m^3 mil)	Derrocagem (m^3 mil)
Rio Grande - RS	14,00	16,20	16.000	0
Santos - SP	12,80	15,00	9.135	33
S. F. do Sul - SC	11,00	14,00	3.200	72
Itajai - SC	11,00	12,00	3.060	0
Rio de Janeiro - RJ	10,0/13,3	13,5/15,5	3.500	0
Vitória - ES	11,40	12,50	610	2
Itaguaí - RJ	14,5/17,1	17,50	4.900	0
Fortaleza - CE	11,50	14,00	4.200	2
Suape - PE	15,00	19,00	11.000	0
Aratu - BA	12,00	15,00	3.300	54
Recife - PE	9,20	11,50	1.855	0

5.3 – Convenções Internacionais

No início da década de 70, mundialmente foi dada grande atenção à disposição dos materiais dragados, estabelecendo-se convenções e protocolos para tal procedimento. Estas convenções foram estabelecidas pela grande ocorrência de impactos negativos causados pela disposição de um país em outros países, uma vez que no oceano os efeitos da disposição não são locais. Entre estas convenções destacam-se a Convenção de Londres, a Convenção de Oslo e Paris. Estas convenções tinham como interesse fundamental, a regulamentação da disposição de substâncias nocivas nos oceanos. Contudo, frente à situação mundial, onde o

volume de material dragado disposto no mar supera em muito qualquer outro material, essas convenções foram estendidas também à regulação dos sedimentos dragados.

Convenção de Londres

Esta convenção, estabelecida em 1972 tem como objetivos a simplificação de pesquisas e a averiguação das condições ambientais dos sedimentos aquáticos, além de estabelecer procedimentos para identificar e investigar contaminação nos sedimentos, no contexto da saúde humana e ambiental. Reserva também o objetivo de harmonizar, nacional e internacionalmente, mecanismos de proteção ambiental: metodologias para conhecer e determinar as condições e características naturais dos sedimentos e anormalidades resultantes de atividades humanas que possam gerar atenção especial no gerenciamento do material dragado e garantir sua inertização.

Em 1996 a Convenção recebeu as últimas emendas, mas o Protocolo de 1996 não entrou em vigor, pois somente 22 paises assinaram o referido documento, que tinha como regras básicas:

- Proteger e preservar o ambiente marinho de todas as fontes de poluição;
- Tomar medidas efetivas, de acordo com as capacidades científica, técnica e econômica para prevenir, reduzir e onde for praticável, eliminar a poluição marinha causada pela disposição ou incineração no mar;
- Quando da aplicação da disposição, considerar outras opções de gerenciamento do resíduo, como o reuso, reciclagem, destruição de constituintes perigosos, tratamento para reduzir ou remover as substâncias perigosas, disposição confinada;
- Não permissão da disposição exceto para material dragado, lodo de esgoto, resíduos de peixes, navios e plataformas ou outras estruturas construídas no mar; material geológico inorgânico, inerte; material orgânico de origem natural e itens que contenham primariamente ferro, aço, concreto e materiais similares não perigosos que causem apenas impacto físico;
- Desenvolvimento de uma Lista de Ação com substâncias selecionadas que sejam tóxicas persistentes e bioacumulativas (por exemplo, organohalogênicos, hidrocarbonetos de petróleo, cobre, zinco, cianetos,

fluoretos, pesticidas) de fontes antropogênicas. Resíduos que contenham mais do que os limiares definidos para essas substâncias não serão permitidos para a disposição oceânica;

- Qualquer disposição deverá ter uma permissão que incluirá condições precisas para o seu despejo;
- A proteção do meio marinho inclui a complementação de instrumentos regionais e nacionais levando em consideração as circunstâncias específicas e as necessidades daquelas regiões e Estados;
- Em nível nacional ou regional medidas mais restritas podem ser adotadas;
- Ações e Convenções internacionais mais relevantes ("United Nations Convention on the Law of the Sea" 1982, "the Rio Declaration on Environment and Development and Agenda 21") devem ser consideradas (IMO, 1997).

Uma orientação específica para a implementação da Convenção de Londres para o material dragado foi desenvolvida a partir 1986, também conhecida como Estrutura de Avaliação de Material Dragado ("Dredged Material Assessment Framework" - DMAF). Ela aborda aspectos gerais a serem considerados na avaliação da necessidade de dragagem e disposição final, em especial para a disposição oceânica.

Convenção de Oslo e Paris

As convenções de Oslo e Paris, respectivamente de 1972 e 1974 vêm sofrendo revisões ao longo dos anos. Os países signatários são obrigados a considerar esta diretriz nos seus procedimentos de licenciamento para atividades de dragagem e disposição final de material dragado.

A Diretriz orienta etapas básicas e preliminares de investigações necessárias, que por meio das circunstâncias locais, que podem ser parte decisiva no gerenciamento da decisão da dragagem e disposição do material dragado.

Analisando as duas convenções citadas, identificam-se em ambas dois princípios básicos:

a) ***O Princípio da Precaução***, que estabelece medidas preventivas a serem tomadas sempre que existirem motivos razoáveis para se suspeitar que as substâncias introduzidas no ambiente aquático possam trazer riscos, prejuízos,

danos e interferências, mesmo quando não houver evidência conclusiva da relação entre os efeitos causados e as substâncias introduzidas.

b) ***O Princípio do Poluidor / Pagador*** que estabelece que os custos da prevenção e controle devem ser arcados pelo poluidor.

Além das Convenções apresentadas, algumas organizações internacionais podem ser citadas quando se trata do gerenciamento do material dragado :

PIANC – Permanent International Association of Navigation Congresses

Entidade internacional de apoio técnico. Seus objetivos são os de promover o desenvolvimento, tanto para a navegação oceânica como para as hidrovias. Considera o gerenciamento da atividade de dragagem e a disposição final fundamental para a manutenção da infra-estrutura básica da navegação. Avalia a questão sob o ponto de vista econômico, ambiental, regulatório e social, considerando estes aspectos indissociáveis.

International Council for the Exploration of the Sea (ICES)

Este Conselho é a mais antiga organização intergovernamental no mundo no que se refere às ciências marinhas. Desde o seu estabelecimento em Copenhagen (em 1902), o ICES tem liderado fóruns científicos para a troca de informações e idéias sobre o mar e recursos vivos, para a promoção e coordenação de pesquisa marinha entre os cientistas dos países membros. Desde 1970, o principal escopo da organização é prover informações para os países e comissões de regulamentação internacionais (incluindo a Comissão Européia) para a proteção e conservação do ambiente marinho. Investigações oceanográficas são partes integrantes do programa multidisciplinar da ICES para a compreensão das feições e dinâmicas das massas d'água e seus processos ecológicos. Em muitos casos a ênfase está na influência das mudanças na hidrografia e fluxos de corrente sobre a distribuição, abundância e dinâmica populacional dos estoques pesqueiros. Essas investigações são também relevantes para os estudos de poluição marinha pois as condições oceanográficas afetam a distribuição e o transporte de contaminantes no meio marinho (ICES, 2000). Devido ao seu status como corpo consultor cientifico para os governos dos Estados-membros e como observador em muitas convenções internacionais como a OSPAR, ICES está habilitado para influenciar nas políticas de

proteção marinha, incluindo aquelas que se referem ao gerenciamento do material dragado.

Central Dredging Association (CEDA)

A associação é membro da "World Organisation of Dredging Associations" (WODA), sendo uma sociedade profissional, independente, não-lucrativa e não-governamental. Seus objetivos são:

- Promover a educação e instrução dos seus membros e outros no que se refere à dragagem e atividades relacionadas;
- Gerar e disseminar informação de qualidade sobre a dragagem e matérias associadas;
- Desenvolver ou contribuir para o desenvolvimento de "guidelines" e padrões;
- Iniciar e / ou sustentar pesquisa relevante para as atividades de dragagem;
- Ser ativo na elaboração de políticas relevantes;
- Aumentar o entendimento do publico sobre a dragagem e reconhecimento de sua contribuição para a sociedade (CEDA, 2000).

A associação organiza congressos, seminários, cursos e publica relatórios, atas e notas de orientação; participa de treinamento em países em desenvolvimento; atua como observador oficial da Convenção de Londres 1972 e da Convenção de OSPAR 1992; coopera com várias organizações como a PIANC, IMO, IADC ("International Association of Dredging Companies") e IAPH ("International Association of Ports and Harbours").

International Association of Ports and Harbours" (IAPH)

É uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1955 e de âmbito mundial, composta principalmente por autoridades portuárias públicas e agências. Integram também indústrias e fornecedores de produtos portuários ou serviços associados. A IAPH ajuda na sustentação de uma cooperação e troca de informação entre portos e indústrias marítimas. Como uma organização não governamental, possui um status de consultor no comércio exterior e organizações de transporte, tais como IMO, UNCTAD, UNEP, para assegurar que os interesses das indústrias portuárias estão representados em regulamentações correntes e futuras.

5.4 – Critérios Internacionais para Disposição Marítima de Dragados

Critério Australiano

Para auxiliar na proteção ao meio ambiente, a Austrália implementou uma legislação para facilitar a preservação dos ecossistemas marinhos e a prevenção da poluição marinha, fazendo parte do Protocolo da Convenção de Prevenção da Poluição Marinha por Despejos Contaminados de 1996, a qual foi implementada em Dezembro de 2000.

No âmbito da Lei de Proteção Ambiental de Despejo Marítimo, a Austrália implementou o Protocolo da Convenção de Londres (assim cumprindo suas obrigações internacionais junto à Convenção de Londres) ao regulamentar o despejo de resíduos e outras matérias para o mar. A Lei de Despejo Marítimo fornece base para o licenciamento e gerenciamento de tais ações.

As Orientações Nacionais de Disposição Oceânica para Material Dragado pretendem auxiliar o licenciamento sob a Lei de Despejo Marítimo fornecendo um quadro global para a avaliação dos impactos ambientais a partir da eliminação no mar de materiais dragados.

De acordo com estas orientações, a Austrália desenvolveu uma metodologia de avaliação da contaminação dos sedimentos composta por quatro fases: avaliação de informações existentes (Fase I), amostragem e análise de resíduos de dragagem (Fase II); biodisponibilidade e ensaios de toxicidade aguda (Fase III); e ensaio de toxicidade sub-aguda/crônica (Fase IV). As orientações também estabelecem um quadro para seleção de locais de eliminação, avaliação, gestão e acompanhamento.

A fase inicial é uma avaliação das informações atualizadas disponíveis para determinar se são suficientes para se proceder a disposição do material dragado. Se os dados forem insuficientes, o proponente prossegue para uma próxima fase mais detalhada. Isto garante que toda informação requerida para a avaliação do impacto ambiental foi obtida, enquanto evita a obtenção de dados não necessários.

Inicialmente, a necessidade de disposição marítima deve ser totalmente avaliada. Nenhuma alternativa de disposição deve ser presumida mais apropriada que outra e decisões sobre qual é a mais desejável deve levar em conta os impactos ambientais potenciais de cada alternativa.

Se a disposição marítima for considerada a opção mais adequada, então os impactos ambientais por esta operação devem ser minimizados.

Os projetos de dragagem devem ser classificados em ordem de quantidade de material a ser disposto em muito pequeno (menos de 15.000 m³), pequeno (até 50.000 m³), médio (de 50.000 até 500.000 m³) e grande (mais que 500.000 m³).

Investigação

Fase I

A investigação envolve a compilação e revisão de informações existentes sobre o material a ser dragado para determinar quais contaminantes necessitam de investigação e para avaliar se estas informações são suficientes para se tomar uma decisão sobre a disposição. A revisão deve determinar:

- Se pode ser eliminada a necessidade de testes adicionais nos quais o material a ser disposto esteja limpo e o volume não ultrapasse os 15.000 m³, ou para projetos de dragagem de implantação em áreas distantes, os quais informações anteriores mostraram que o material dragado ainda esteja em condições naturais;

  Ou se a eliminação não for possível
- Quais são os contaminantes de maior relevância (baseado no histórico e dados de sedimentos);
- Se o despejo for avaliado como não contaminado, contaminado ou necessitando de maiores investigações.

Nos locais onde o sedimento avaliado como não contaminado dentro dos cinco anos anteriores, o dado é considerado de boa qualidade e a existência de evidencias suficientes de que a poluição não ocorreu subsequentemente, o proponente pode solicitar à autoridade competente a permissão para disposição marítima sem a realização de outros testes. Se as informações existentes não forem suficientes para a identificação dos contaminantes para uma disposição marítima, a Fase II de investigação é requerida.

Fase II

O primeiro passo desta fase é a identificação dos contaminantes principais. Amostras representativas do material a ser dragado e da área de disposição devem ser coletadas e analisadas. Amostras tomadas próximas ao local de despejo podem

ser representativas sobre os tipos de sedimento na área, mas não sobre a possível presença de contaminantes.

Um Plano de Amostragem e Análise (SAP – Sampling and Analysis Plan) é necessário antes que qualquer material seja amostrado. O SAP deve delinear a proposta de dragagem estabelecendo os objetivos do estudo e os procedimentos de controle do material amostrado.

O órgão licenciador deve revisar e aprovar o relatório da Fase I e o SAP antes de que qualquer amostra seja colhida. Isso garante que os dados colhidos sejam suficientes e adequados e vai evitar um desperdício desnecessário de recursos em nova amostragem. O órgão não deve impor exigências adicionais testes nesta fase, exceto se tal ocorrer a partir de dados incompletos ou ambíguos. Para evitar o desperdício de custo e tempo envolvidos na análise de grandes números de amostras de substâncias que depois podem revelar-se indetectáveis, um subconjunto aleatório de amostras (20%) pode ser rastreado para contaminantes conhecidos ou potencialmente presentes no local de dragagem. Contaminantes não detectados podem ser eliminados da lista de análise. As substâncias detectadas são os contaminantes de preocupação, e todo o restante das amostras deve ser analisado para estes contaminantes. Para as grandes propostas de dragagem (maior que 500.000 m^3), pode ser apropriado realizar um estudo-piloto, incluindo as amostras aleatoriamente coletadas (20% do total previsto) e, com base na identificação dos contaminantes, determinar a principal fase de amostragem e análise. Para os pequenos projetos é provável ser mais eficaz em termos de custos recolher todas as amostras de uma só vez e realizar uma analise aleatória de um subconjunto de todas as suspeitas de contaminantes e, em seguida, analisar as amostras restantes apenas para os contaminantes identificados de preocupação.

Para grandes projetos de dragagem de aprofundamento em áreas remotas, a exigência de uma investigação minuciosa pode ser dispensada se os resultados desse estudo piloto mostram que não existem contaminantes de preocupação.

Os valores para cada um dos contaminantes de interesse estão devem ser avaliados utilizando-se de análise estatística e comparação. Em cada caso, se o rejeito de dragagem contiver valores acima da orientação para um ou mais contaminantes, o proponente terá necessidade de se avançar para a próxima fase de testes. Se os contaminantes forem considerados biodisponíveis e ainda o

proponente pretender solicitar uma licença, testes de toxicidade serão necessários (Fase III).

O rejeito pode ser classificado como não contaminado, caso em que a autorização de um despejo marítimo pode ser solicitada sem mais testes químicos, desde que satisfaçam um nível aceitável quanto aos impactos físicos de turbidez da água e deterioração do leito. Além disso, testes biológicos podem ser necessários para determinar a possível introdução de espécies marinhas exóticas.

Fase III

Quando são exigidos ensaios de toxicidade, a toxicidade aguda dos sedimentos deve ser avaliada utilizando organismos adequados. Se o sedimento não for considerado de toxicidade aguda, a análise pode avançar para a Fase IV, que envolve testes de toxicidade sub-aguda. Se o sedimento for muito tóxico, ele será classificado como altamente contaminado.

Fase IV

Esta é a fase final de testes para determinar se os sedimentos contêm níveis de toxicidade sub-aguda (ou crônica). Embora a contaminação neste nível seja menor do que na Fase III, impactos negativos sobre o ecossistema marinho continuam inaceitáveis. Se o sedimento não for considerado de toxicidade sub-aguda, é classificado como não contaminado e é aceitável para descarte no oceano, do contrário, é classificado como moderadamente contaminado.

Sedimentos contaminados

Após as fases III ou IV, os sedimentos podem ser considerados altamente ou moderadamente contaminados. Caso o proponente ainda considerar a disposição em oceano, será necessário investigar as opções de gestão (tratamento, medidas de controle, disposição confinada, etc) para garantir que os impactos possam ser atenuados com sucesso. Se impactos podem ser atenuados, o proponente pode solicitar uma autorização, embora, terá de garantir ao órgão licenciador que a eliminação não causará impactos ambientais adversos. Se os impactos não puderem ser atenuados, o material é inaceitável para a disposição em oceano.

Alternativamente, o proponente poderá investigar a viabilidade de tratamento e disposição em terra.

Seleção, avaliação, gestão e acompanhamento do local de disposição offshore

A seleção, avaliação ambiental e monitoramento da disposição offshore envolvem uma série de passos que são indicados a seguir. Se o material for aceitável para a eliminação não confinada em oceano, ele será normalmente disposto em um local existente de disposição. Muitos locais de eliminação na Austrália têm sido utilizados por longos períodos, mais de um século, em alguns casos. Raramente, e principalmente com relação à construção de um novo porto em áreas remotas, será necessário que se selecione um novo local de disposição. Isto exigirá consulta às organizações governamentais e não-governamentais, bem como investigação global do local proposto e alternativas.

Dados exigidos relativos à eliminação são indicados a seguir. Em alguns casos, uma investigação mais aprofundada pode ser adequada, como por exemplo uma mudança na natureza e/ou volume de rejeito está previsto para ocorrer, ou para fornecer os dados necessários para uma avaliação adequada do desempenho ambiental do local ao longo do tempo. Para os novos locais de despejo, as informações constantes a seguir deverão ser obtidas. Estas orientações são destinadas para garantir que impactos adversos sobre organismos marinhos não ocorram. Um conjunto de localizações alternativas deve ser considerado, e dados suficientes sobre as características de cada local e os seus arredores devem ser tomados.

Para locais de disposição existentes com documentação adequada, somente é necessário seguir os passos 6 a 10.

1. Descrição das características físicas

Recolher informação sobre os locais de dragagem propostos e alternativos. Isto deve incluir características da coluna de água (isto é, ação das marés, ondas e correntes, temperatura, salinidade e perfis turbidez) e nos sedimentos do leito marinho (contaminantes de preocupação identificados no rejeito de dragagem também devem ser determinados para o leito marinho).

Fazer previsões dos efeitos do material despejado sobre a coluna d'água, incluindo a dispersão de sedimentos finos, a granulometria do material despejado, a área de deposição e as diferenças de características entre os sedimentos a ser disposto e o original do local de disposição.

2. Descrição das comunidades marinhas

Analise critica das informações existentes, incluindo as espécies migratórias. Se a informação existente for insuficiente, será necessária vistoria na biota marinha no local de disposição.

3. Identificação de contaminantes no local de disposição.

Se o rejeito estiver contaminado, os níveis de contaminantes de preocupação na biota do local de disposição devem ser determinados;

Analise critica das informações existentes;

Se a informação existente for insuficiente, será necessária vistoria na biota marinha no local de disposição.

4. Será necessária a consulta às autoridades estatais de segurança marítima, pescas, ambiente e outras organizações para determinar o impacto causado a outros usuários pelo local de despejo.

5. Avaliação da adequabilidade do local em termos de efeitos físicos diretos, capacidade e, se for caso disso, dos efeitos de contaminantes presentes no rejeito de dragagem.

6. Avaliação do gerenciamento das propostas de operações de dragagem para determinar se impactos identificados (caso exista) podem ser atenuados. Tais medidas podem incluir modificação da metodologia de dragagem e das operações de disposição. Se os impactos do procedimento de disposição sobre o meio receptor forem considerados grandes e os efeitos não podendo ser atenuados, o material é inaceitável para a disposição em oceano. O material que é inaceitável para os efeitos da eliminação do mar é, em muitos casos, bastante aceitável para disposição em terra.

7. Avaliação do impacto do cenário final da disposição. A avaliação do impacto deve indicar concisamente as conseqüências esperadas (hipóteses de impactos), para serem utilizadas na aprovação ou rejeição da proposta de operação de descarte e ajudar a definir os requisitos de controle.

8. Desenvolvimento de um programa de controle para determinar se as mudanças no ambiente receptor estão dentro das previsões das hipóteses de impactos . Os procedimentos específicos para a sua coleta, análise e avaliação dos sedimentos do local de disposição e das comunidades biológicas devem estar em conformidade com as orientações governamentais.

9. Fornecimento de orientações gerais sobre o monitoramento das operações de disposição. No entanto, devido ao monitoramento ser específico para cada local e projeto, os detalhes específicos do acompanhamento exigido devem ser desenvolvidos em cooperação com o órgão licenciador.

10. Uma estratégia de disposição deve ser desenvolvida para eliminar ou mitigar os impactos, ou, se tal não for possível, para garantir que tais impactos sejam atenuados em qualquer operação de disposição futura. Deve ser incluído um plano de contingência em caso de impactos imprevistos.

Critério Holandês - Alemão

Economicamente eficiente e ambientalmente necessário, o manuseio e disposição do material dragado é de grande importância tanto na Holanda quanto na Alemanha devido às grandes quantidades de material provenientes das dragagens dos sistemas aquaviários destes países, atingindo valores em torno de 50 milhões m^3 por ano.

Uma parte relativamente pequena mas muito significante é contaminada, enquanto a maior parte é limpa ou minimamente contaminada. É prática comum a disposição de grande parte do material dragado no sistema aquaviário em locais adequados. Se a disposição for indesejável ou impossível por razões ambientais, morfológicas ou espaciais, opções alternativas são empregadas tais como o uso benéfico, o tratamento e a disposição confinada. Estas opções porém são muito custosas. Para enfrentar este cenário, autoridades governamentais holandesas e alemãs iniciaram um intercâmbio holandês alemão (Dutch German Exchange – DGE) sobre material dragado no final do ano de 1999, baseado na política ambiental formulada pela World Dredging Association (WODA) e Central Dredging Association (CEDA).

Esta política inclui:

- Reconhecimento de que uma dragagem cuidadosamente planejada e bem executada é ambientalmente importante e contribui para o fortalecimento da economia;
- Convicção de que projetos de dragagem podem ser concebidos, permitidos e implementados em tempo e custo eficazes obedecendo metas ambientais e necessidades regulatórias específicas;
- Comprometimento com o desenvolvimento e implementação de instruções ambientais seguras para dragagens de construção e manutenção;
- Incentivo ao uso benéfico do material dragado;
- A necessidade de uma rede de comunicação direta entre os envolvidos no projeto, tais como autoridades portuárias, empresas de dragagem, agencias reguladoras, grupos de interesse ambiental e o público em geral;
- Incentivo no investimento de intercâmbio e transferência de novas tecnologias e o desenvolvimento de novas técnicas mais eficientes para melhoramento da avaliação e disposição segura do material dragado.

O principal objetivo do DGE é melhorar o entendimento no gerenciamento, tanto no nível político quanto no nível técnico do material dragado pela troca de experiências e conhecimento.

Por esta perspectiva o DGE abrange diferentes aspectos do gerenciamento do material dragado tais como legislação, tratamento, químico, ecotoxicológico e tecnologia de dragagem.

A Holanda obedece à Lei de Poluição da Água do Mar, que incorpora, em grande parte, os procedimentos prescritos na Convenção de Londres. O princípio geral dessa lei consiste na regulamentação da disposição de resíduos no mar, levando em conta que a permissão para disposição de material estará subordinada às condições estipuladas nos Artigos IV (I)(a) e IV (I)(b) da Convenção de Londres.

Os holandeses adotam, ainda:

- A construção de áreas confinadas de armazenamento para o material dragado.
- Técnicas de tratamento e o uso benéfico do material dragado, sempre que possível.
- Medições de níveis de concentração do material dragado, a fim de permitir a decisão quanto à disposição apropriada.

As normas gerais de qualidade ambiental na Holanda são baseadas no documento denominado Evaluation Note on Water, de março de 1994. Este documento estabelece cinco valores que são descritos a seguir:

- Valor alvo – Indica o nível de concentração abaixo do qual os riscos ambientais podem ser desprezados.
- Valor limite – Nível de concentração para qual o sedimento aquático ainda é considerado relativamente limpo, podendo ser considerada a hipótese de disposição em corpos hídricos abertos.
- Valor de referência – Indica o nível máximo de concentração permitido para disposição em corpos hídricos abertos acima do qual os riscos ambientais são inaceitáveis.
- Valor de intervenção – Indica a necessidade urgente de tratamento, devido ao risco ambiental e à saúde pública.
- Valor crítico – Utilizado apenas para metais pesados, sendo um indicativo do nível de concentração acima do qual a necessidade de dragagem deve ser avaliada em função das elevadas concentrações de contaminantes.

Para o estabelecimento desses valores é necessária a conversão do conteúdo do sedimento medido para sedimento padrão, que é aquele que contém 10% de matéria orgânica e 25% de material fino (<2µm,conhecido em inglês como lute).

A tabela 2 a seguir, relaciona os limites adotados na Holanda para os principais tipos de sedimentos encontrados na natureza.

Tabela 2 - Critérios de Qualidade para os principais sedimentos aquáticos

Elementos	Unidade	Valor Alvo	Valor Limite	Valor de Referencia	Valor de Intervenção	Valor Crítico
Arsenico	mg/kg ds	29	55	55	55	150
Cádmio	mg/kg ds	0,8	2	7,5	12	30
Cromo	mg/kg ds	100	380	380	380	1000
Cobre	mg/kg ds	35	35	90	190	400
Mercúrio	mg/kg ds	0,3	0,5	1,6	10	15
Chumbo	mg/kg ds	85	530	530	530	1000
Níquel	mg/kg ds	35	35	45	210	200
Zinco	mg/kg ds	140	480	720	720	2500
10 HPA	mg/kg ds	1	1	10	40	-
BPC-28	µg/kg ds	1	4	30	-	-
BPC-180	µg/kg ds	4	4	30	-	-
α-HCH	µg/kg ds	2,5	-	20	-	-

β-HCH	µg/kg ds	1	-	20	-	-
γ-HCH	µg/kg ds	0,05	1	20	-	-
Heptacloro	µg/kg ds	2,5	-	-	-	-
Aldrin	µg/kg ds	2,5	-	-	-	-
Dieldrin	µg/kg ds	0,5	20	-	-	-
Total aldrin_dieldrin	µg/kg ds	-	40	40	-	-
Endrin	µg/kg ds	1	40	40	-	-
DDT	µg/kg ds	2,5	10	20	4000	-
Hexaclorobutadieno	µg/kg ds	2,5	20	20	-	-
Total de pesticidas	µg/kg ds	2,5	-	100	-	-
Pentaclorobenzeno	µg/kg ds	2,5	300	300	-	-
Hexaclorobenzeno	µg/kg ds	2,5	4	20	-	-
Pentaclorofenol	µg/kg ds	2	20	5000	5000	-
Óleos Minerais	mg/kg ds	50	100	3000	5000	-
EOX	mg/kg ds	-	0	7	-	-

HPA - Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
BPC - Bifenilas policloradas
HCH - Hexaclorociclohexanos
EOX - Compostos halogenados passíveis de extração

Fonte: Evaluation Note on Water, 1994

A partir das concentrações acima estabelecidas, define-se o destino das amostras. No julgamento, nenhum parâmetro pode exceder o denominado Valor de Intervenção, nem o Valor Crítico. Porém alguns outros níveis de qualidade podem ser excedidos por um ou dois parâmetros em até 50%, desde de que os outros parâmetros que caracterizam os sedimentos se encontrem dentro das faixas propostas. Uma exceção é feita para o parâmetro 10 HPA, que não pode exceder nenhum nível de qualidade. Os parâmetros de EOX e Óleos Minerais, normalmente não invalidam o resíduo dragado, servindo apenas como um alerta para futuras investigações, no caso de valores muito fora dos limites.

Analisada a amostra, decide-se sobre o destino do material dragado levando-se, ainda, em conta as seguintes classes de sedimentos:

- Classe 0 – Está abaixo do valor alvo e pode ser disposto em terra ou em águas superficiais sem restrições.
- Classe 1 – Excede o valor alvo, mas se encontra abaixo do valor limite, sendo permitida sua disposição, desde que a qualidade do solo não esteja significativamente deteriorada.
- Classe 2 – Excede o valor limite, mas está abaixo do valor de referência podendo ser disposto em águas superficiais e em terra, desde que sob cuidados determinados.

- Classe 3 – Excede o valor de referência, mas fica abaixo do valor de intervenção, sendo necessária sua contenção sob condições controladas.
- Classe 4 – Excede o valor de intervenção e deve ser mantido isolado em poços profundos ou em terra, a fim de minimizar sua influência sobre o ambiente.

Deve-se frisar que na ausência de fontes poluidoras apreciáveis, alguns serviços de dragagem podem ser isentos dos testes especificados na Convenção de Londres.

Estes serviços compreendem a dragagem de canais de acesso nos portos, as dragagens para instalação de tubulações em alto mar e a dragagem de areia para o engordamento de praias. A principal razão para este procedimento consiste na suposição de que, neste caso, os sedimentos sejam simplesmente recolocados num ecossistema aquático sujeito ao mesmo grau de poluição.

Critério Norte-Americano

A disposição do material dragado em águas oceânicas nos Estados Unidos é previamente analisada através de três procedimentos principais:

- Teste e análise do material dragado.
- Escolha do local de disposição.
- Manutenção do local de disposição e seu monitoramento.

Na regulamentação da disposição do material dragado procura-se evitar efeitos impactantes para a saúde humana e para o ambiente marinho. A proposta de controle da dragagem e disposição segue uma linha que cobre todos os aspectos dos processos envolvidos na disposição do material dragado procurando-se encorajar a coordenação e cooperação entre as entidades federais, estaduais e locais envolvidas.

A gestão do material dragado nos Estados Unidos é regulada por um conjunto de estatutos e regulamentações elaborados para proteger os recursos naturais críticos e minimizar os potenciais impactos adversos aos locais de disposição oceânica. O MPRSA (Marine Protection, Research, and Sanctuaries Act, de 1972) é o principal estatuto que regula a disposição de material dragado no oceano e implementa algumas normas e critérios da Convenção de Londres.

De acordo com o MPRSA, dois órgãos compartilham a responsabilidade pelo gerenciamento da disposição de material dragado no oceano. Estes órgãos são respectivamente a USEPA (US Environmental Protection Agency) e o USACE (US Army Corps of Engineers). Com atribuições distintas, o primeiro é responsável pela determinação dos locais de disposição oceânica, enquanto que o segundo é responsável pela emissão de permissões para o transporte e disposição do material dragado. Existem também responsabilidades comuns aos dois órgãos como o desenvolvimento e implementação de planos de controle dos locais de disposição e programas de monitoramento. Quando um projeto de dragagem é submetido à análise, a USEPA e o USACE avaliam o material dragado, a necessidade de disposição oceânica e as medidas preventivas necessárias para limitar os impactos. Alguns outros órgãos federais e estaduais também apresentam papel fundamental na tomada de decisões, funcionando como fonte de informações e referência para que se possa garantir a efetividade do processo com respectiva proteção ambiental e segurança na navegação. Estes órgãos são: o Serviço Norte Americano de Pesca e Vida Selvagem, o Serviço Nacional de Zonas Pesqueiras, os Órgãos Estaduais de Preservação Histórica e as Agências Estaduais de Gerenciamento Costeiro.

As diretrizes federais para avaliação da adequação do material dragado à disposição oceânica estão contidas na publicação “Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal – Testing Manual” (USEPA/USACE, 1991), também chamada de Livro Verde (Green Book) ou Manual de Teste Oceânico. Os procedimentos de teste do Livro Verde enfatizam o uso de testes biológicos, ao invés de análises químicas detalhadas, para avaliar os impactos ecológicos. O manual recomenda testes físicos, químicos e biológicos específicos, para avaliar o impacto da disposição do material dragado na coluna de água e nas comunidades bentônicas. Tal procedimento é diferente do adotado em outros países, principalmente europeus, onde há mais ênfase nos testes químicos. O material dragado cogitado para disposição oceânica não requer testes no caso de areia limpa, ou quando é destinado para engordamento de praias, ou mesmo, quando é originário de uma área reconhecidamente afastada de fontes conhecidas de poluição. Deve-se ressaltar que o Livro Verde oferece procedimentos de testes aplicáveis em nível nacional, mas que não incluem todos os interesses específicos dos 109 diferentes locais de disposição oceânica existentes nos Estados Unidos.

Por isso, testes regionais são, normalmente, preparados com este propósito pelas EPAs regionais e pelas Repartições Regionais da USACE.

A técnica de avaliação do material dragado compreende um procedimento em 4 etapas. Cada etapa sucessiva compreende procedimentos mais detalhados e rigorosos. Ao final de cada etapa, três questões devem ser respondidas e decisões subseqüentes devem ser tomadas, para se proceder à etapa seguinte. As questões a serem respondidas são:

- Os critérios do regulamento são atendidos? Em caso positivo, a disposição oceânica é permitida, e nenhum teste adicional é necessário.
- A avaliação é não conclusiva? Em caso afirmativo a disposição não é aprovada, e a próxima etapa do teste deve ser feita.
- Os critérios regulatórios são atendidos? Se não, a disposição oceânica não é permitida.

Em cada uma das etapas, aspectos específicos são utilizados para aferir a adequação do material. Os três principais aspectos são: os Critérios de Qualidade da Água (WQC), a toxicidade e a bioacumulação. Nos estágios iniciais dos testes, contaminantes de interesse no material dragado são comparados com o critério de qualidade de água marinha. A especificação desses contaminantes de interesse é baseada em informações históricas sobre o local de dragagem, que incluem informações de descarga na área e resultados de testes anteriores além das características do material dragado. O nível de contaminantes avaliados não deve exceder o critério de qualidade da água marinha fora da fronteira do local de disposição e dentro da área, após mais de 4 horas da mistura inicial.

Os testes de toxicidade são utilizados para medir os impactos na coluna d'água e na comunidade bentônica. Os WQC são utilizados como medidores iniciais da toxicidade na coluna d'água, mas para uma avaliação mais precisa são utilizados ensaios biológicos. Procura-se, com isso, determinar os efeitos dos contaminantes dissolvidos e suspensos nos organismos presentes na coluna d'água.

São realizados testes de bioacumulação para estimar a disponibilidade biológica de contaminantes de interesse originários da descarga do material. Este tipo de teste envolve comparações estatísticas entre a concentração de contaminantes nos organismos presentes no material dragado e a concentração existente nos organismos do sedimento de referência. Dependendo do resultado, as USEPA e o USACE regionais desenvolverão um critério específico para a avaliação.

Diretrizes para o desenvolvimento de critérios específicos estão incluídas no Livro Verde, e buscam assegurar que o material analisado seja testado de forma consistente em consonância com as Regulamentações de Imersão Oceânica.

Como citado anteriormente, a USEPA possui responsabilidade direta no que concerne a determinação do local de disposição. Contudo em alguns casos, o USACE pode selecionar um local de disposição específico para um projeto específico, quando nenhum local anteriormente escolhido pela USEPA esteja disponível. Em qualquer um dos casos, os critérios do MPRSA e o Regulamento de Imersão Oceânica da USEPA devem ser atendidos. Os regulamentos da MPRSA têm como interesses principais: os impactos ambientais nas áreas adjacentes ao local de disposição, os impactos estéticos, econômicos, e de lazer e os impactos para outros usos benéficos do oceano (pesca comercial, extração mineral, etc). O primeiro passo na designação do local consiste na identificação das Zonas Adequadas para Depósito (Zones of Siting Feasibility - ZSF), que correspondem às áreas que são ambiental, econômica e logisticamente passíveis de disposição do material dragado. Usualmente, o limite externo das ZSF é estabelecido por uma distância radial do local de dragagem, correspondente a um limite praticável de transporte do material dragado.

Após a determinação das áreas potencialmente receptoras são realizadas análises detalhadas de impacto ambiental. Estas análises demandam grande quantidade de amostras de campo e dados laboratoriais. Escolhido o local ideal de disposição é necessária a obtenção de permissão pelo USACE, o que requer testes e avaliações do material dragado. Enquanto o USACE é a autoridade competente para emitir a permissão de disposição, a USEPA é a responsável por uma revisão independente do projeto de disposição, a fim de determinar os efeitos do material dragado no local da disposição, baseada na avaliação do material dragado, no conhecimento das características do local e das exigências de controle.

Uma vez realizada a disposição, deve-se garantir o controle e o monitoramento da mesma. O procedimento de controle tem o intuito de assegurar a proteção contínua do ambiente aquático e dos recursos naturais existentes. O monitoramento verifica as modificações no local de disposição, baseado nos dados obtidos previamente à disposição sobre a quantidade e qualidade do material. Ele tem como intuito principal gerar informações sobre os impactos do material disposto

e o destino do mesmo a curto e longo prazo. Os procedimentos de controle e monitoramento devem perdurar durante toda a vida útil do local de disposição.

6 – GERENCIAMENTO DO MATERIAL DRAGADO

No planejamento e execução das investigações dos locais de dragagem, deve-se atentar para a obtenção de dados do leito e de condições ambientais para dois propósitos:

1. Para o estabelecimento de planos de trabalho dependentes das condições do leito e ambientais.
2. Para o planejamento financeiro das operações de dragagem, as quais são profundamente afetadas pelas condições do leito e ambientais.

Os trabalhos de dragagem são as principais operações e são freqüentemente os mais complexos e custosos, representando uma proporção substancial dos custos dos projetos marinhos. O planejamento e execução eficientes para os trabalhos de dragagem requerem conhecimento quanto ao material a ser dragado e sobre as condições ambientais que existem na planta de operação da dragagem. A elevada mobilização de capital numa planta de dragagem indica que um levantamento equivocado do tipo de leito e dos parâmetros ambientais e conseqüente escolha de métodos não adequados podem levar a perdas econômicas muito grandes. Dessa forma, pesquisas de leito e condições ambientais bem conduzidas são fundamentais para o sucesso técnico e econômico dessas operações de dragagem.

As técnicas de pesquisa aplicadas ao ambiente marinho são diferentes daquelas aplicadas em terra. A dificuldade de trabalho (às vezes em péssimas condições), o custo de procedimentos necessários e as freqüentes grandes áreas envolvidas nos projetos de dragagem podem explicar porque as investigações para trabalhos de dragagem são em certos casos inadequadas.

Os levantamentos preliminares devem ser baseados em dados geológicos e ambientais existentes, comparando-se com o cenário de projeto de dragagem. Estas investigações incluem:

- Pesquisas batimétricas para definição da profundidade da área de dragagem e disposição;
- Investigações geofísicas para identificação de obstáculos sobre o fundo;
- Investigações geofísicas e geotécnicas do leito para identificação dos tipos de solo e rochas a serem dragados e suas características mecânicas;

- Investigação das condições ambientais que possam envolver os trabalhos de dragagem e possam ser afetadas pelos mesmos.

Dentro deste campo de informações, é de grande importância que seja criado um programa de investigação e gerenciamento das condições das áreas a serem dragadas e das áreas de despejo para que os trabalhos sejam conduzidos de maneira segura e eficaz.

A extensão e o detalhamento de um programa de investigação pode variar em função de fatores tais como: volume de dragagem, nível de contaminação do sedimento, características geomorfológicas da área a ser dragada, meio biótico, entre outros.

O programa de investigação deverá ser desenvolvido em etapas, consistindo: a primeira, na determinação de análises granulométricas e físico-químicas do sedimento as ser dragado e, a segunda, objetivando investigações biológicas para caracterizar mais detalhadamente a qualidade da água e dos sedimentos a serem dragados. Pesquisas geoambientais podem ser necessárias para saber se o material a ser dragado contém níveis significantes de contaminantes. Isto pode ser seguido por investigações mais detalhadas para determinação da natureza, concentração e disposição dos contaminantes.

A amostragem do sedimento é sempre necessária para efeito de sua caracterização. A distribuição, profundidade e quantidade de amostras deverão ser representativas em função do tamanho da área e do volume a ser dragado. Em casos os quais haja suspeita de contaminação do material a ser dragado, o planejamento da amostragem deve representar também a expectativa de variação da distribuição horizontal e vertical dos contaminantes.

6.1 – Caracterização Física

A caracterização física do material dragado é fundamental para o planejamento global de um projeto de dragagem, influenciando não somente a operação, mas também o comportamento dos mesmos durante seu transporte até a área de despejo e sua disposição (por exemplo velocidade de sedimentação, floculação, dispersão e ressuspensão) .

São dois os sistemas de classificação mais conhecidos. O Sistema Unificado de Classificação de Sedimentos (ASTM 1992) e o sistema PIANC de “Classificação

de Sedimentos e Rochas a serem Dragados" (PIANC 1984). A classificação exposta a seguir será baseada na síntese destes dois sistemas.

Forma e composição

Baseados em análise visual, o material pode ser classificado por uma descrição física geral com relevância especial à sua disposição, sendo que para cada classificação existem diferentes parâmetros a serem considerados para este tipo de operação.

Rochas

Para rochas a serem dragadas, e especialmente para as rochas calcárias, o controle durante a dragagem é devido à quantidade de material fino produzido. O derramamento associado à disposição de rochas calcárias é muito visível por plumas brancas na água, despertando grande curiosidade da opinião pública, embora a concentração de finos seja relativamente baixa.

Areia

Areia é um material complexo, em termos de disposição. A densidade após eliminação provavelmente será diferente a da densidade *in situ*, devido à perturbação inicial, transporte, distribuição dos grãos, alterações devido transbordamento de finos e, finalmente, segregação do material durante a descida.

Argila e areia argilosa

A condição para a disposição aquática deste tipo de material depende de:

- Quantidade de materiais grossos;
- Quantidade de argila;
- Equipamentos de dragagem.

O comportamento da argila depois de ser dragada depende principalmente do método de dragagem. Uma draga de sucção pode desfazer a estrutura de certos tipos de argila, enquanto outros tipos de draga podem remover o material em grandes pedaços.

Se a quantidade de finos é muito alta, a disposição em água salobra permite a formação de flocos, os quais são determinantes nas características de assentamento do material.

Siltes

Siltes assentam com uma baixa velocidade, resultando em grande propagação durante a sua disposição. Além disso, permanece em ressuspensão por um longo período após a eliminação. A presença de finos no material causa uma consolidação lenta devido à baixa permeabilidade e baixa densidade.

Argila superconsolidada

A disposição de argila superconsolidada pode resultar em grandes pedaços no fundo do mar.

Solos orgânicos

Solos orgânicos incluem um amplo grupo como silte (orgânico), lama e turfa. As principais características estão relacionadas com o conteúdo do teor de água, lodo / argila e matéria orgânica. Estes parâmetros dominam a densidade e resistência ao cisalhamento. Materiais mais leves podem ter teores de água muito altos e baixa resistência ao cisalhamento.

A consolidação e a resistência à erosão após a disposição poderão demandar tempo para a ocorrência desses fenômenos.

Destroços

Produtos de demolição devem ser excluídos da dragagem para disposição aquática, uma vez que há grande interferência com outras utilizações do meio aquático, por exemplo, a pesca. Alternativamente, os detritos podem ser dispostos sob uma camada segura de capeamento, resultando em uma superfície da eliminação aceitável.

Granulometria

É a base para classificação da maioria dos materiais dragados. A granulometria é descrita pela porcentagem de peso dos vários tamanhos de partícula. No Brasil, a distribuição do tamanho das partículas é classificada conforme a Norma Brasileira NBR 7181, de fevereiro de 1984, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação Granulométrica de Solos

Material	Tamanho das Partículas
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia em geral	Entre 0,05 e 4,8 mm
Areia grossa	De 2,0 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2,0 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Materiais classificados entre siltes e argilas geralmente exibem propriedades coesivas. Normalmente são descritos como lama, o que não tem uma definição precisa, mas “lama” freqüentemente contém uma alta porcentagem de areia.

Plasticidade

Esta propriedade permite que um material se deforme sem mudança de volume. É somente aplicada em sedimentos coesivos (argilas e siltes). Testes mais comuns para a sua obtenção são o Limite de Liquidez de Atterberg (LL) e o Limite de Plasticidade (LP).

Densidade Aparente

Descreve o peso total da um volume unitário de material e água. É baixo para materiais finos contendo uma grande proporção de água. É utilizado para determinar volumes *in situ*, no transporte e após o despejo.

Velocidade de sedimentação

A velocidade de sedimentação depende principalmente do diâmetro e densidade da partícula do material dragado e determina a taxa com que as partículas em suspensão atingem o fundo. É importante na avaliação dos níveis de turbidez da água.

Permeabilidade

É a taxa de escoamento por unidade de área do material submetido a um gradiente hidráulico, ou seja, mede a facilidade com que a água passa pelo material. É afetada pelo tamanho da partícula e (especialmente para sedimentos coesivos) pelo grau de consolidação.

Consolidação

Descreve a reorganização das partículas do sedimento em um estado mais denso, acompanhada pela expulsão de água. É relevante para materiais compostos por grãos finos. A consolidação é um fenômeno importante que afeta a escolha do local de disposição e a geometria dos depósitos de sedimentos em mar aberto.

Conteúdo Orgânico

Pode afetar o consumo de oxigênio, disponibilidade de nutrientes e causar impacto nas comunidades bentônicas. A contaminação por metais pesados está sempre relacionada à presença de matéria orgânica.

6.2 – Caracterização Química

Materiais provenientes de dragagem de manutenção são geralmente de granulometria baixa e podem conter misturas de contaminantes de origem industrial, agrícola ou doméstica. Dragagens de implantação podem, às vezes, incluir uma superfície de material contaminado.

O propósito da caracterização química é estabelecer parâmetros para avaliação se a disposição do material em ambiente aquático pode causar efeitos indesejáveis, particularmente crônicos ou agudos em organismos marinhos ou humanos.

Os parâmetros avaliados para esta caracterização incluem:

Metais

Os metais podem estar presentes nos sedimentos tanto em suas estruturas como por contaminação. As principais fontes de metais pesados para o ecossistema aquático são o intemperismo de rochas, a erosão de solos, atividades industriais,

atividades de mineração, efluentes domésticos, adubos químicos e defensivos agrícolas (Esteves, 1988).

Os metais são elementos altamente reativos e, por isso, estão envolvidos em muitos mecanismos de interação entre o meio e o contaminante. Além disso, não sofrem degradação, acumulando-se no solo por tempo indefinido (Monteiro, 2006).

Porém, nem todos os metais são tóxicos. Alguns deles são até mesmo essenciais aos seres vivos, desde que em pequenas concentrações. Estes são conhecidos como micronutrientes e entre eles estão o manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe). Já elementos como mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e cádmio (Cd) não apresentam qualquer função biológica conhecida e ainda produzem efeitos tóxicos ao ambiente.

A elevada concentração dos metais resulta na diminuição da qualidade do solo e riscos ao ambiente e à vida humana e animal por meio da transferência via cadeia alimentar. A não bioacumulação resulta na permanência destes elementos na natureza por longos períodos e agrava ainda mais a problemática ambiental.

Comumente, as quantidades de mercúrio, cádmio, arsênio, zinco, cobre cromo e níquel são parâmetros a serem determinados.

Componentes Orgânicos

Os poluentes orgânicos são constituídos por contaminantes provenientes do petróleo, indústrias de organoclorados, resíduos de pesticidas, indústrias de munição, entre outras atividades antropogênicas.

Os componetes orgânicos são constituídos em sua base por átomos de carbono (C) e hidrogênio (H), podendo conter átomos de nitrogênio (N), oxigênio (O), cloro (Cl), enxofre (S), fósforo (P), entre outros.

Existem algumas propriedades dos componentes orgânicos que diferem dos inorgânicos e têm grande relevância para o meio ambiente, entre elas estão o seu peso molecular que pode ser muito elevado e suas reações que são usualmente moleculares e não iônicas, e por isso quase sempre lentas. Outra característica desses componentes é que são pouco ou nada solúveis em água.

A adsorção por partículas sólidas em suspensão é um processo que também pode ocorrer para esses componentes. A partir daí é preciso avaliar a possibilidade de criação de um reservatório de contaminantes orgânicos com a sedimentação do material em suspensão, que, apesar de contribuir para a interrupção da

contaminação, pode propiciar um ambiente altamente danoso para os organismos bentônicos. Além disso, deve-se avaliar também o potencial de solubilização desses componentes adsorvidos no caso de haver ressuspensão de sedimentos.

Outro aspecto que deve ser considerado para o estudo do comportamento dos contaminantes orgânicos é a ocorrência de processos físicos, químicos e biológicos que os degradem com o tempo, transformando-os quimicamente, sendo que em alguns casos a toxicidade pode ser atenuada e em outros aumentada.

Materiais Radioativos

Materiais dragados podem conter radioatividade natural ou antropogênica, como, por exemplo, vindas de descargas nucleares. Para a maioria dos projetos de dragagem para navegação, materiais radioativos não são considerados. Quando são, opções de gerenciamento se concentram nos métodos de disposição que minimizem os riscos de retorno dos mesmos.

Nutrientes

Os nutrientes ocorrem naturalmente nos sedimentos, mas também podem ter origem em fontes artificiais poluidoras, como por exemplo, efluentes agrícolas e de esgoto doméstico ou industrial. O problema associado a eles ocorre quando se apresentam em formas ou em quantidades prejudiciais ao ambiente aquático.

O fósforo é provavelmente o mais essencial dos elementos para os organismos. Suas principais fontes de ocorrência natural provêm da decomposição de rochas e de organismos de origem alóctone. Como fontes artificiais têm-se os esgotos doméstico e industrial, os fertilizantes agrícolas e metais particulados de origem industrial contidos na atmosfera.

Com relação às reações químicas que ocorrem com a participação do fosfato, em geral, em condições de pH ácido ele é adsorvido pelos sólidos em suspensão. Já em situações de baixas concentrações de oxigênio dissolvido como sistemas aquáticos relativamente fechados, sua liberação para a coluna d'água ocorre mais facilmente, resultando na abundância de algumas espécies e conseqüentemente efeitos danosos ao ecossistema aquático como a eutrofização (Esteves, 1988).

O outro nutriente também bastante importante para os organismos é o nitrogênio. As principais fontes de nitrogênio são as chuvas e materiais orgânicos e

inorgânicos, podendo ocorrer sob diversas formas como nitratos, nitritos, amônia, íon amonio e nitrogênio molecular.

A liberação da amônia para a coluna d'água constitui o principal problema associado ao nitrogênio. Essa substância pode ter origem na descarga de esgoto pela transformação do íon amônio, que ocorre em condições de pH alcalino, ou ainda na degradação microbiana de resíduos orgânicos em condições anaeróbias. A amônia é altamente solúvel, o que aumenta o seu potencial de contaminação. Quando liberada em altas concentrações, mostra-se tóxica para alguns organismos. Entretanto, essas concentrações são, em geral, reduzidas rapidamente a valores inferiores aos tóxicos pelo processo de diluição.

Assim, como com o fósforo, a liberação de nitrogênio em ambientes aquáticos pode provocar o processo de eutrofização. Se este processo for decorrente de atividades antrópicas, como a descarga de esgoto, os efeitos danosos são ainda maiores, porque há uma aceleração significativa do processo natural. Esses efluentes, por sua vez, apresentam também um elevado teor de matéria orgânica, que para ser decomposta necessita do consumo de oxigênio dissolvido na água. Dessa forma, outros processos de degradação da água podem ser iniciados.

6.3 – Caracterização Ecotoxicológica

Se os impactos potenciais ao meio biótico não puderem ser avaliados diretamente com base nas caracterizações física e química do sedimento, testes de efeitos biológicos são necessários.

Os testes utilizam espécies que são sensíveis aos contaminantes e representativas do ambiente estudado, incluindo:

- Toxicidade aguda – Testam os efeitos de exposições em curtos períodos. A toxicidade é expressa como a concentração média letal (LC50), concentração esta capaz de matar 50% dos organismos de teste em um determinado intervalo de tempo. A duração do intervalo varia de algumas horas a alguns dias.
- Toxicidade crônica – Avaliam os efeitos sub-letais resultantes de exposições prolongadas a baixas concentrações. Tais efeitos podem ser fisiológicos, patológicos, imunológicos, mutagênicos e cancerígenos. O teste pode durar diversas semanas e indicam: os potenciais impactos de sedimentos

dissolvidos ou suspensos nas camadas de organismos aquáticos e os potenciais impactos dos sedimentos depositados nos organismos bentônicos

- Potencial de bioacumulação – determina a biodisponibilidade e o potencial para longos períodos de acumulação na cadeia alimentar aquática, em níveis que poderiam ser prejudiciais aos consumidores do topo da cadeia, incluindo o homem, sem que, no entanto, ocorra a morte dos organismos intermediários. O teste é feito com espécies expostas de 10 a 28 dias e subseqüente avaliação das concentrações de substâncias de interesse no tecido celular.

Neste contexto, é importante considerar informações sobre espécies presentes na área afetada e os efeitos potenciais do material a ser disposto e seus constituintes sobre os organismos. A medição direta dos efeitos biológicos tem a vantagem adicional de se avaliar os efeitos sinérgicos e cumulativos de diferentes toxinas numa mistura.

6.4 – Gestão do Material Dragado

Os resultados da caracterização física / química / biológica fornecerão uma base de dados para avaliar se o material dragado é adequado para uma das alternativas de disposição ou reaproveitamento.

A avaliação da contaminação, considerando as alternativas de disposição, deve ser feita caso a caso para posterior tomada de decisão. A decisão entre diferentes alternativas de disposição / reutilização deverá levar em conta, além dos aspectos econômicos, os impactos ambientais.

No caso da disposição de material dragado contaminado, o número de alternativas ficará reduzido ou condicionado ao tratamento prévio, tendo em vista as restrições ambientais à sua disposição.

Mesmo nos casos em que o nível de contaminação não obrigue à disposição em aterros controlados, poderá ser necessária à adoção de medidas mitigadoras dos impactos sobre o meio ambiente, através do emprego de técnicas de manejo da disposição, estruturas de retenção de contaminantes ou tratamento do material dragado.

São consideradas as seguintes alternativas de disposição / reutilização:

- Uso benéfico;
- Tratamento;
- Disposição em corpos hídricos abertos;
- Disposição em locais confinados.

Uso benéfico

Materiais provenientes da dragagem de implantação são geralmente usados com fins de construção. Entretanto, isto não ocorre no caso de materiais provenientes de dragagem de manutenção. O material de dragagem constitui um recurso de grande valor se o mesmo não estiver contaminado, podendo ser considerado para uso benéfico. Dependendo da composição e granulometria dos sedimentos dragados, eles podem ser usados para construção, agricultura, ou até mesmo para melhorias ambientais.

Usos na construção

A utilização do material dragado para a construção é aplicada de diversas maneiras, conforme apresentado:

Criação de áreas – Preenchimento, crescimento ou proteção de áreas que são periodicamente ou permanentemente submergidas.

Melhoramento de áreas – Terras existentes, não adequadas para um uso planejado, podem ser melhoradas pela cobertura com uma camada de material dragado com propósitos de desenvolvimento de agricultura, reflorestamento, etc.

Praias – Materiais provenientes de dragagem podem ser utilizados para proteção costeira ou para atendimento à necessidade de áreas de recreação.

Bermas offshore – Em alguns casos a linha de arrebentação de ondas pode ser modificada localmente com um resultado no melhoramento da estabilidade da praia pela formação de bermas offshore adequadas, com a utilização de material dragado, conforme esquema da Figura 21. O alinhamento das bermas é determinado pela direção das ondas mais destrutivas da praia em que se deseja realizar a proteção costeira. Exceto no caso do uso de rochas, as bermas de terra são, usualmente, submersas. O objetivo da construção das bermas submersas é o de absorver parte da energia da onda que se aproxima da praia, amenizando o clima de ondas no local ou também de modificar a direção das ondas incidentes em uma praia, ou a direção do transporte de sedimentos. As bermas submersas podem ser criadas pela descarga de fundo das cisternas de qualquer equipamento de

dragagem autotransportador. Neste caso, os mesmos equipamentos usados para a disposição no mar, podem ser empregados na formação das bermas.

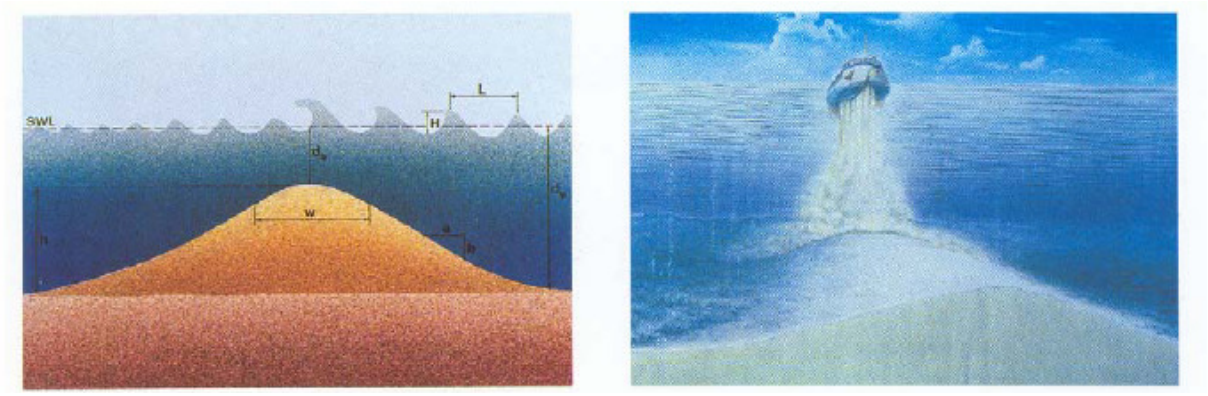


Figura 21– Criação de bermas offshore com o uso de material dragado

Fonte: PIANC, 1992, Beneficial Uses of Dredged Material

Diques – Materiais de dragagem podem ser utilizados para construção de diques ou barragens ou para construção de barreiras de som em áreas urbanizadas. Também pode ser utilizado como barreira impermeável contra percolação de água.

Capeamento – Relacionado com disposição em locais confinados, esta opção de disposição envolve a locação de uma camada contínua e limpa de material dragado sobre material contaminado que deve ser isolado.

Preenchimentos – Escavações antigas, canais obsoletos, locais contaminados, etc... podem ser preenchidos com material dragado.

Material de construção – O material dragado pode, em alguns casos, ser utilizado como agregado de concreto ou processados em tijolos.

Usos na Agricultura

Pelo conteúdo de matéria orgânica misturada à areia, argila e silte, o material dragado pode ser utilizado para melhorar a estrutura do solo para agricultura.

Processo de decisão

Para avaliar as possibilidades de uso benéfico do material numa situação específica é recomendado que se siga os procedimentos gerais desenvolvidos pela PIANC intitulado “Usos Benéficos do Material Dragado – Guia Prático” (1992). Este procedimento contém os seguintes passos:

- Caracterização física;

- Estado de contaminação;
- Opções de uso benéfico;
- Seleção do local;
- Viabilidade técnica;
- Viabilidade legal;
- Análise de custo-benefício.

Se o uso benéfico não for uma solução viável, disposição ou tratamento serão as outras opções.

Durante e após a execução do projeto, o impacto e a performance do uso benéfico devem ser monitorados.

Tratamento

O tratamento pode ser definido como um método de processamento do material dragado com o intuito de reduzir a concentração de contaminantes em níveis aceitáveis.

As técnicas de tratamento são específicas para diferentes tipos de contaminantes em materiais dragados. Algumas técnicas ainda estão em estágio de demonstração, enquanto outras já estão em operação. Certos materiais contêm misturas de vários metais pesados, hidrocarbonetos e compostos organoclorados. Estas misturas são de difícil tratamento e requerem duas ou mais técnicas de tratamento.

O processo de tratamento pode ser classificado em:

- Pré-tratamento
- Tratamento Biológico
- Tratamento Físico-Químico
- Tratamento Térmico
- Tratamento Eletrocinético
- Imobilização

Pré-tratamento

A meta da maioria dos processos de pré-tratamento é a redução do volume de material dragado que requeiram melhores tratamentos e também a melhora da qualidade física do material para posterior tratamento. Algumas técnicas de pré-

tratamento separam as frações de material que estão relativamente limpas daquelas relativamente contaminadas. Outras técnicas separam líquidos de sólidos.

Um tipo usual de pré-tratamento se baseia no fato de que os contaminantes preferencialmente são adsorvidos em partículas mais finas do material dragado. Em alguns casos, as partículas maiores são lavadas após serem separadas para uma maior redução do nível de contaminantes.

Algumas técnicas de pré-tratamento são expostas:

Hidrociclones

Uma das técnicas mais difundidas de separação prévia de material, através da utilização dos hidrociclones. Esta técnica possui ampla aplicação na separação dos sedimentos compostos de areia, cascalho e minerais processados industrialmente. Tem como conceito primário a separação de materiais com massa ou densidade distintas, a partir de uma mistura pastosa.

O hidrociclone utiliza a força centrífuga e tem um gasto de energia relativamente baixo. Esta técnica já foi utilizada em diversos portos da Europa para aumentar a concentração de sólidos na pasta de material dragado. A Figura 22 mostra um dos principais tipos de hidrociclone atualmente utilizados. Nesse método, uma mistura pastosa é introduzida na câmara alimentadora, sob pressão. A entrada tangencial faz com que a pasta gire em alta velocidade angular, forçando as partículas pesadas ou grosseiras para as paredes laterais, onde as partículas mais pesadas continuam caindo com velocidade crescente para o fundo de uma seção cônica. Este material escapa, então, pela abertura de saída com uma elevada percentagem de sólidos. O fluxo ciclônico gera uma baixa pressão no centro, fazendo com que os grãos finos e água fluam para cima e escapem pela entrada do vórtex. O resíduo de partículas finas com baixa concentração de sólidos é chamado efluente (overflow).

Figura 22– Equipamento Hidrociclone em Operação

Fonte: IADC/CEDA, 1997 – Environmental Aspects of Dredging – Guide 5

Flotação

Consiste no processo de separação de partículas do volume líquido a partir de densidades diferentes. Este método é comumente utilizado para separação de petróleo e sulfetos metálicos. (Germert, 1994).

Desidratação

A desidratação consiste em um processo pelo qual se tem um melhoramento da textura do material, proporcionando maior facilidade de manuseio e, conseqüentemente, redução de custos. Deve ser utilizado, principalmente, para sedimentos finos (siltes e argilas). Na maioria dos casos, os campos de desidratação são uma alternativa barata contudo, a água propriamente dita, tem grande probabilidade de estar contaminada necessitando, por isso, de tratamento posterior. Deve-se no caso dos campos de desidratação analisar a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. A Figura 23 mostra a seqüência utilizada na desidratação, dispondo o material desidratado em compartimentos separados.

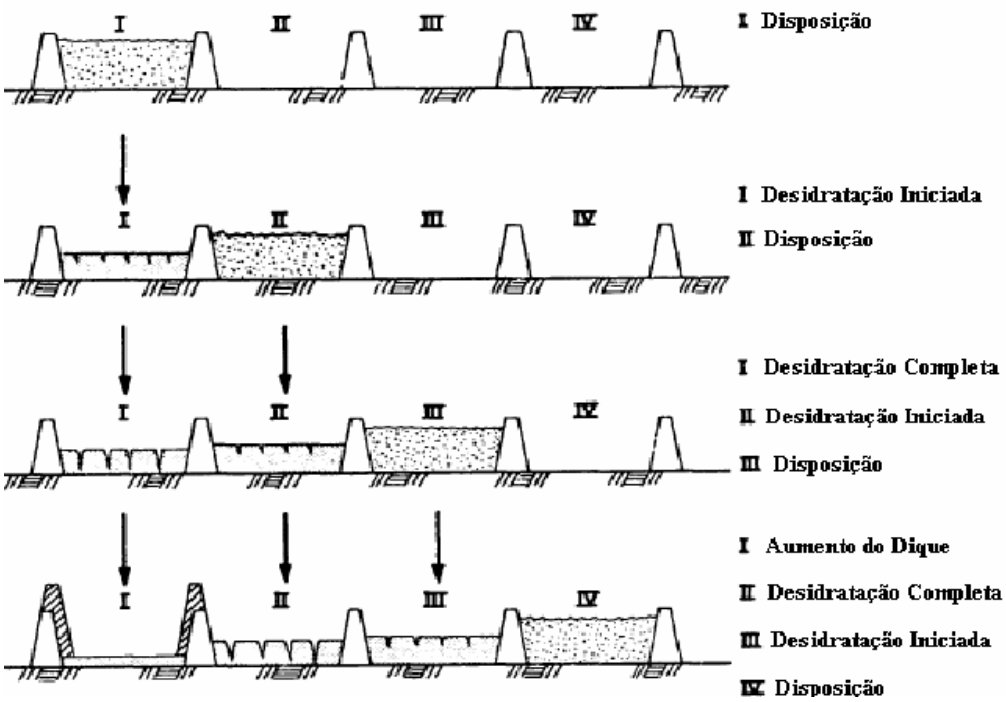


Figura 23– Esquema de etapas da desidratação

Fonte: IADC/CEDA, 1997 – Environmental Aspects of Dredging – Guide 5

Separação Magnética

Utiliza grandes ímãs para remoção de materiais magnéticos, resultantes de compostos metálicos, no tratamento de solos contaminados.

Tratamento Biológico

As técnicas de tratamento biológico em geral são baseadas na degradação de substâncias orgânicas por microrganismos. Estes métodos aceleram o processo natural de decomposição de contaminantes orgânicos. Elas apresentam bons resultados no tratamento de materiais contaminados com hidrocarbonetos.

Este processo pode ser realizado fora do local de deposição, através do cultivo apropriado do solo e bioreatores. A efetividade depende da temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes.

Metais tóxicos e outras substâncias não biodegradáveis não são afetados e caso estejam presentes nos sedimentos em quantidades significativas, podem gerar problemas pela destruição de microrganismos que atuam no processo.

Tratamento Físico-Químico

O tratamento dos materiais dragados é baseado no comportamento físico-químico dos sedimentos e dos contaminantes, tais como o pH, oxidação, troca iônica, etc. Basicamente o intuito deste processo é a remoção dos contaminantes ou a alteração de sua composição. O método requer tempo e é custoso, por isso é utilizado somente em projetos especiais.

A seguir são apresentadas algumas das técnicas mais comumente utilizadas:

Técnicas de Extração

São baseadas na utilização de solventes que concentram os contaminantes em um volume reduzido. Os principais tipos de técnicas de separação são:

- Extração ácida – é aplicada aos metais pesados não sendo muito eficiente para o cádmio. Caso o sedimento seja composto de matéria orgânica, pode ocasionar a formação de compostos indesejáveis, sendo necessário a utilização de aeração antes do processo, aumentando o custo.
- Extração de complexos – envolve o uso de elementos químicos orgânicos que formam complexos com os metais e são extraídos do sedimento e colocados em solução.
- Extração de solventes – envolve a seleção e remoção de contaminantes orgânicos formando um composto sólido ou líquido através do uso de solventes selecionados.

Oxidação Através da Umidade do Ar

É uma técnica que apresenta bons resultados na destruição de BPCs (Bifenilas Policloradas) e HPAs (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), utilizada em tratamento de água residual e esgotos. Por ser um processo que requer umidade, não é atrapalhado pela grande quantidade de água no material dragado, mas requer temperatura e pressão elevadas sendo, portanto, muito dispendioso financeiramente.

BCD (Base-Catalyzed Decomposition)

O processo BCD envolve o tratamento de resíduos líquidos e sólidos, na presença de um reagente constituído por uma mistura de hidrocarbonetos de alto ponto de ebulição, hidróxido de sódio e de um catalisador apropriado. Quando

aquecido em cerca de 300 ° C, o reagente produz hidrogênio atômico altamente reativo, que quebra as ligações químicas conferindo toxicidade aos compostos. Os resíduos produzidos pela decomposição heteroatômica são compostos de carbono e sais de sódio liberados durante a decomposição completa. Após o tratamento térmico, a parte inorgânica e os sólidos carbonáceos são separados do óleo não reagido por gravidade ou centrifugação. O óleo e o catalisador podem ser recuperados para reutilização em outros ciclos do tratamento. Se for desejado para continuar a separar os resíduos sólidos, os sais podem ser removidos dos resíduos de carbono por lavagem com água. O BCD é um processo que tem a vantagem de não exigir altas temperaturas, pressão, ou reagentes energéticos.

Troca Iônica

Tecnologia baseada na troca seletiva de cátions e muito utilizada na redução de metais. Para sua eficácia é necessário que seja seletiva para metais específicos. A necessidade de ajuste do pH e de longos períodos de contato, acima de uma semana, faz com que a continuidade do processo seja muito difícil.

Tratamento Térmico

Os materiais de dragagem ou resíduos provenientes de outros tratamentos que estão seriamente contaminados com material orgânico podem ser tratados termicamente. As técnicas de tratamento térmico também são caras, mas têm um índice de remoção ou destruição eficiente. Os tipos de tratamento térmico incluem:

Dissociação Térmica

Consiste na aplicação de calor para volatilização e remoção de contaminantes orgânicos. O processo condensa os contaminantes volatilizados e os coleta como um óleo residual. Os contaminantes não são destruídos por esse método, apenas extraídos dos sedimentos.

Incineração

O forno de incineração tem a sua temperatura estabelecida conforme o contaminante alvo. Sabe-se que incinerações a altas pressões e temperaturas (>12.000℃), removem dioxinas e BPCs. É uma tecnologia de alto custo e que não

destrói os metais pesados, já que estes ficam concentrados nas cinzas e requerem disposição controlada. Além disso, os efluentes gasosos podem necessitar de um prévio tratamento como a recombustão.

Tratamento Eletro-cinético

Consiste na aplicação de uma corrente constante em um solo saturado com contaminantes, que ocasionará o armazenamento de íons metálicos e outros cátions no catodo e dos anions, no anodo positivo. Existem quatro mecanismos de transporte iônico:

- Advecção eletro-osmótica.
- Advecção através de diferenças hidráulicas potenciais.
- Difusão devido a gradientes de concentração.
- Migração de íons através de gradientes elétricos.

Este método é bastante atraente, por permitir a remoção no próprio local de metais pesados, evitando a necessidade de manejo e contenção do mesmo. Diversas empresas já aplicavam esta técnica para o tratamento ambiental dos solos, mas é relativamente recente para o tratamento de sedimentos de estuários e rios. A diferença primordial entre as duas está no grau de umidade presente entre os sedimentos. A escolha do material a se utilizar nos eletrodos é de fundamental importância na remoção efetiva dos contaminantes alvos.

Imobilização

Imobilização é um método de tratamento que objetiva prevenir que os contaminantes sejam removidos do material dragado para materiais “limpos”. Pode ser feito quimicamente por fixação, fisicamente por solidificação, fazendo com que o contaminante se fixe a uma massa sólida, tornando-o imóvel ou até mesmo termicamente, em que a temperaturas acima de 14.000℃ o sedimento começa a fundir e a partir de um resfriamento controlado uma variedade de produtos utilizáveis podem ser obtidos.

Disposição em corpos hídricos abertos

Em princípio, corpos hídricos abertos, especialmente quando localizados em ambientes dispersivos não devem ser uma alternativa adequada da disposição do material dragado sem antes uma avaliação muito criteriosa do material. Caso o

rejeito de dragagem esteja contaminado, o material depositado poderá se constituir em fonte de contaminantes para a coluna d'água, gerando uma concentração de contaminantes incompatível com o ecossistema local. Mesmo materiais não poluídos podem produzir efeitos adversos sobre as comunidades bentônicas de um dado ecossistema ou colocar em risco a navegação e a pesca.

O gerenciamento da disposição em corpos hídricos abertos deve ser considerado para a redução de possíveis efeitos adversos. Deste modo, são etapas importantes do gerenciamento a seleção cuidadosa do método de disposição, o período de disposição e a possível utilização de depressões naturais ou artificiais com o capeamento do material disposto com material apropriado.

Disposição em locais confinados

A disposição em locais confinados são preferidas para materiais os quais a disposição em corpos hídricos abertos é inadequada. Várias configurações de estrutura para disposição em locais confinados são possíveis. Este tipo de disposição é conhecido como Confined Disposal Facility (CDF) e será detalhado no Capítulo 7.

7 – DISPOSIÇÃO EM LOCAIS CONFINADOS

7.1 – Introdução

A presença de contaminantes em dragados algumas vezes requer manuseio especial, sendo que CDFs ("Confined Disposal Facilities" – Instalações de Disposição Confinada) constituem-se em opção de gestão eficaz, econômica e difundida em várias áreas portuárias mundiais. A função deste tipo de área é confinar o material dragado contaminado, de forma a que sejam minimizados os efeitos que produz sobre a saúde humana e sobre o ambiente, em geral. Os métodos de dragagem utilizados no preenchimento dos CDF's têm grande influência no projeto dessas áreas.

Embora a concepção dos CDF's seja relativamente simples, sua construção é bastante complexa, uma vez que utiliza processos não padronizados, que têm que ser adaptados a cada caso exigindo equipe multidisciplinar que contemple os aspectos de engenharia, bioquímico, meio ambiente, paisagismo, legislação, sócio-econômico, dentre outros.

7.2 – Tipos de CDF's – Vantagens e Desvantagens

Basicamente estas estruturas podem ser classificadas em completamente submersas, parcialmente submersas ou completamente emersas.

Os CDF's completamente emersos (Figura 24), ou em terra firme são aqueles em que em que o material dragado é depositado acima do nível d'água do terreno adjacente. Um dique de contenção é construído em torno da área, em terreno seco, a fim de confinar o material dragado a ser ali depositado.

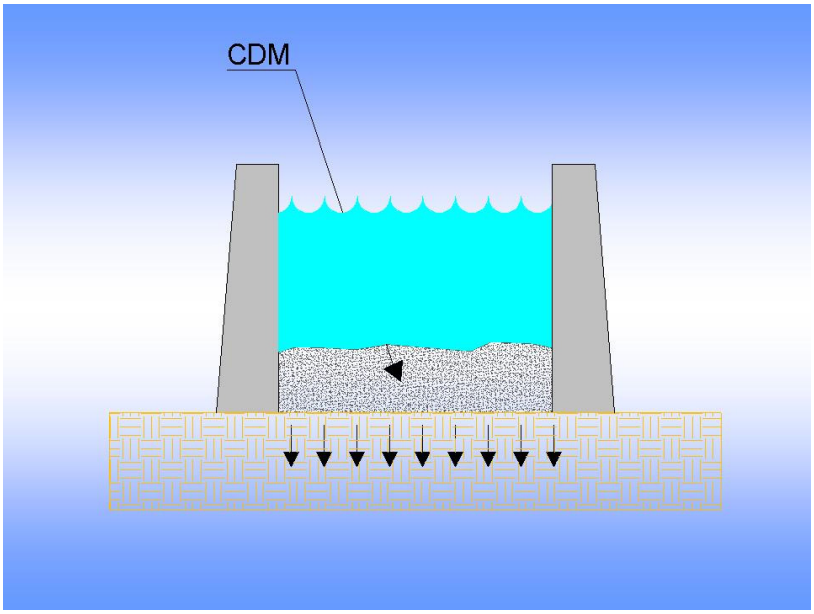


Figura 24– CDF completamente emerso

Fonte: PIANC – Permanent International Navigation Association

As vantagens deste tipo de estrutura são:

- Boa visibilidade, fazendo com que sua presença seja aparente à comunidade local em longo prazo e interferências não intencionais dificilmente ocorram.
- O monitoramento é relativamente simples, de fácil locação e acesso.

Suas desvantagens são:

- Podem ser necessárias medidas de isolamento a fim de se reduzir o transporte advectivo dos contaminantes, durante sua vida útil.
- A retirada da água do dique pode resultar na criação de condições insalubres, aumentando a possibilidade de mobilização de metais pesados para a superfície e para as água do solo.
- Os CDF's deste tipo apresentam, geralmente, custos mais elevados para o seu enchimento, uma vez que, raramente, podem ser cheios hidraulicamente, o que seria mais econômico.
- Os diques de contenção podem ser bastante grandes, levantando objeções públicas, baseadas em aspectos estéticos.

Os CDF's parcialmente submersos (Figura 25), ou de instalação junto à margem em área estuarina, ou costeira, ou em ilha artificial são áreas isoladas

lateralmente, nas quais o material dragado é disposto abaixo do nível d'água. Comparadas com os CDF's emersos, a altura d'água (carga hidráulica) de água contaminada, é muito menor, neste caso. Muitas vezes, draga-se o fundo do CDF a fim de aumentar a capacidade de estocagem do material.

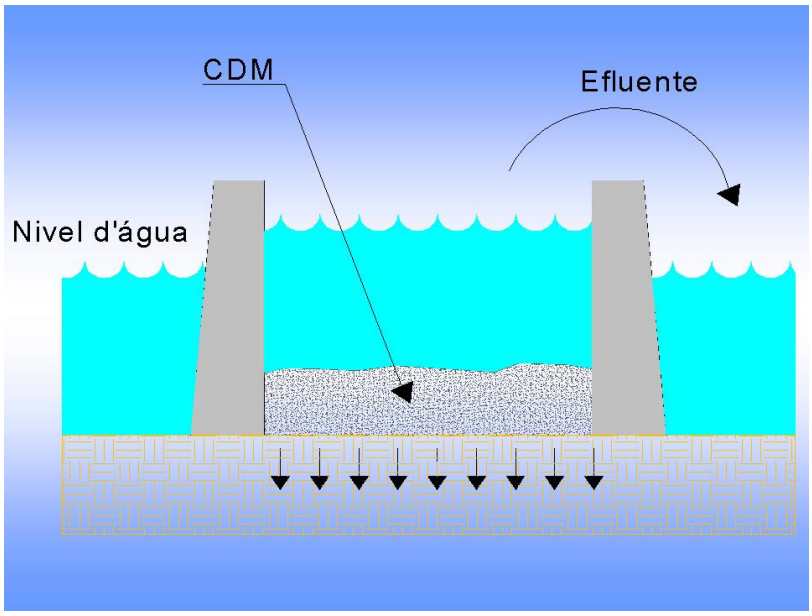


Figura 25– CDF parcialmente submerso

Fonte: PIANC – Permanent International Navigation Association

Pode-se destacar como vantagens:

- O material dragado permanecendo saturado e sob condições anóxicas, os metais pesados ficarão inertes.
- Reduzida dispersão para a água superficial pela presença dos diques de confinamento, havendo somente uma limitada descarga via efluente.
- Boa visibilidade, fazendo com que sua presença seja aparente à comunidade local em longo prazo e interferências não intencionais dificilmente ocorram.
- Necessidade de escavações são menores que as do tipo submersas.
- A carga hidráulica, que é a principal força que provoca o transporte advectivo de contaminantes, pode ser controlada.
- O monitoramento é relativamente simples, de fácil locação e acesso.
- Em áreas estuarinas o endicamento do CDF pode estar associado à função de guias-correntes, implementando as condições de autolimpeza na calibração dos canais.
- Pode ser cheio de forma relativamente econômica por via hidráulica.

Como desvantagens pode-se citar:

- Se for construído próximo a local de tráfego de navios, pode dificultar a navegação;
- Sua visibilidade pode provocar impacto estético, podendo ser necessária a diminuição de sua altura.

Para complementar, nos CDF's submersos (Figura 26), também conhecidos como CAD ("Confined Aquatic Disposal") o material dragado é inteiramente depositado abaixo do nível d'água. Uma das principais características deste tipo de estrutura é que ela não utiliza diques de contenção do material, sendo sua fonte de contaminação principal através do contato direto com a água. Se a pressão da água abaixo da área for a mesma da água que a circunda, não haverá força para provocar o movimento das águas. Escavações especiais de deposição podem ser criadas, ou podem ser utilizadas depressões naturais para deposição do material contaminado. Durante o preenchimento das cavas o material contaminado ficará em contato direto com a superfície que o circunda, podendo provocar impactos sobre os organismos aquáticos.

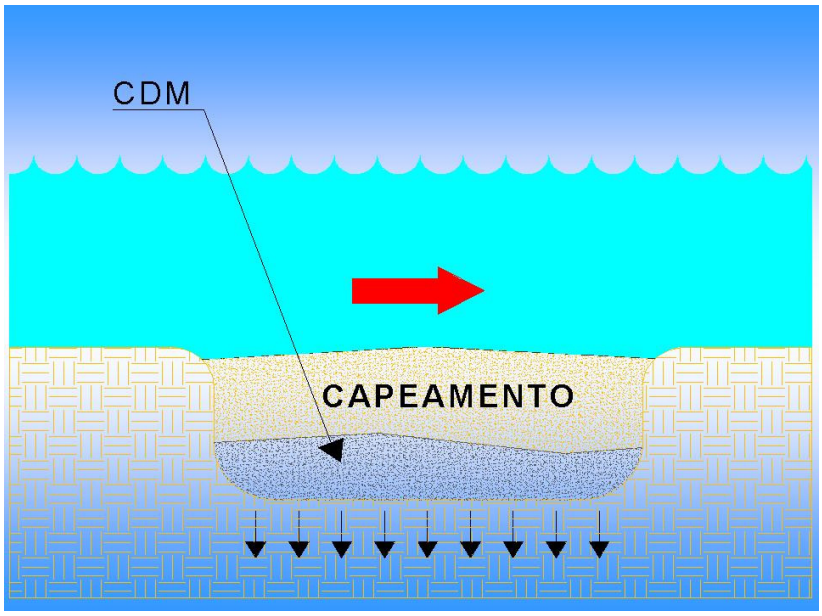


Figura 26– CDF submerso

Fonte: PIANC – Permanent International Navigation Association

Apresentam como vantagens:

- O material dragado permanecendo saturado e sob condições anóxicas, os metais pesados ficarão inertes.

- Fica totalmente submerso, ou seja, fica fora da visibilidade de comunidades vizinhas, facilitando sua aceitação.
- Seu preenchimento é relativamente simples.
- Os custos de manutenção são reduzidos.

As desvantagens deste arranjo são:

- Caso seja necessária a escavação, o custo deste CDF será mais elevado do que o dos emersos. Se o volume do CDF tiver que ser escavado, cada unidade de volume depositado será igual à mesma unidade de volume escavado.
- A sua não visibilidade pode constituir-se em longo prazo num maior risco para uma interferência no local.
- Maior possibilidade de dispersão do material dragado para a superfície, devido ao contato direto com o corpo d'água.
- Devem ser adotadas medidas especiais para seu preenchimento para se evitar dispersão do material.
- Não há possibilidade de controlar a carga hidráulica no CDF.

7.3 – Caracterização do local e do sedimento

Para a escolha dos locais mais adequados para CDF's, é necessário obter uma base de dados das potenciais localizações, bem como sobre o material a ser disposto. Os dados estão descritos nos itens abaixo relacionados:

Comportamento do material a ser depositado no CDF

Para uma avaliação eficiente do manuseio, tratamento e disposição do material dragado é necessário que se obtenham a composição e características físicas, químicas e biológicas deste material. Desta maneira, é necessário que se conheça os tipos de contaminantes no material e seus comportamentos, com dependência das condições geoquímicas predominantes nos locais de dragagem e disposição em conjunto com os mecanismos de dispersão dos contaminantes no ambiente.

Caracterização Física

O bom gerenciamento de um CDF requer conhecimento da densidade do material *in situ* (antes da dragagem), na barcaça / cisterna ou durante o transporte por tubulação, e imediatamente após completar-se cada atividade de disposição. A atividade de dragagem e transporte ao CDF produzem a adição e mistura de água com o CDM (Contamined Dredged Material – Material de Dragagem Contaminado), reduzindo assim sua densidade. Quando o material dragado é depositado no local de confinamento sob a forma pastosa, a porção mais grossa se deposita rapidamente perto do ponto de descarga, formando um monte. Através do deslocamento dos pontos de descarga, o que pode ser feito durante a operação, uma linha contínua de montes pode ser formada. As partículas mais finas continuarão a flutuar pela área de contenção, depositando-se lentamente. Durante e após as operações de enchimento do CDF, o excesso de água na mistura do material dragado à água adicionada no processo é descarregado como efluente. A descarga deve ser compatível à velocidade de sedimentação necessária, para que as partículas decantem antes de atingirem o final da estrutura de contenção. Assim que o material começa a se consolidar, a água presente nos vazios tende a ser expulsa. A consolidação continua por um longo período, diminuindo, conseqüentemente, o volume do material descarregado.

Caracterização Físico-química e Biológica

Os parâmetros químicos comumente testados incluem pH e potencial redox. A oxidação e a diminuição do pH, especialmente em sedimentos marinhos e estuarinos, e as conseqüentes transformações químicas inerentes podem afetar significativamente a mobilidade dos contaminantes. Além da caracterização analítica, outros dados sobre os sedimentos são necessários para prever a mobilidade dos contaminantes e o impacto do CDM no meio ambiente (no tempo e espaço). Estes dados estão diretamente relacionados à química sedimentar e incluem parâmetros de dispersão, coeficientes de difusão, coeficientes de adsorção e taxas de decaimento biológico. Carbono orgânico total e perda ao fogo são utilizados para descrever o conteúdo orgânico do material

Os contaminantes são geralmente classificados em quatro grupos maiores:

- Nutrientes, como componentes de nitrogênio e fósforo.
- Metais pesados, como cádmio, chumbo, zinco, cobre, cromo, níquel, mercúrio e arsênio, além de metais orgânicos.

- Compostos orgânicos, como hidrocarbonetos, PAHs, PCBs e pesticidas.
- Materiais radioativos.

A biodegradação da matéria orgânica, além de afetar a mobilidade dos contaminantes, possui um outro efeito significativo no ambiente, que consiste na produção de gás. Os gases predominantes nesta produção são o metano e o dióxido de carbono.

Quanto às condições existentes no perfil vertical do material, temos uma variação conforme a localização deste em relação ao nível de água:

- Para camadas acima do nível de água, tem-se um ambiente físico-químico seco, não saturado e óxido.
- Para camadas expostas ao contato com a água, conforme o nível de maré, tem-se um ambiente parcialmente seco e parcialmente saturado.
- Para camadas abaixo do nível d'água tem-se um ambiente totalmente saturado, não óxido e anaeróbico.

Caracterização do local do CDF

As características dos locais escolhidos para deposição podem maximizar ou minimizar os impactos potenciais no meio ambiente, uma vez que as características de um local em particular podem aumentar ou reduzir estes possíveis impactos. Assim medidas de controle e gastos desnecessários podem ser reduzidos e até evitados com a seleção apropriada.

Torna-se necessário obter dados no próprio local, ou elaborar com base especificamente na análise de séries de longo período de localidades mais próximas.

Dados geotécnicos

Com objetivo de garantir a estabilidade das estruturas em curto e longo prazo, é importante que se conheça a geologia e as características do solo no possível local de despejo.

A construção de diques e a disposição de material dragado no CDF aplicam sobre os solos de fundação um carregamento que pode resultar em problemas de consolidação e estabilização. Desta maneira, devem ser conhecidos parâmetros como resistência do solo, estabilidade, propriedades de consolidação, a

permeabilidade e o material das estruturas de contenção. O risco de deslizamentos e acomodações do terreno devem ser examinados, considerando-se a extensa vida útil de um CDF.

Hidráulica das águas superficiais e subterrâneas

O escoamento potencial de água subterrânea e superficial para dentro e para fora do CDF pode ser um dos principais fluxos de emissão da instalação e, portanto, deve ser cuidadosamente examinado.

São necessárias sondagens no local do possível CDF e mapeamento dos lençóis subterrâneos, assim como a avaliação do impacto da construção do CDF na hidrologia subterrânea. Estruturas construídas junto à margem ou localizando-se em ilhas artificiais podem afetar os regimes hidráulico e de transporte de sedimentos existentes por ocuparem e bloquearem o escoamento natural. Sendo assim, os diques e camadas de capeamento (no caso de CDF subaquático) devem ser projetados para resistir a eventos extremos com relação a níveis d'água, correntes e ondas. Conseqüentemente, deve-se dispor de topo-batimetria detalhada da área, levantamentos dos escoamentos de maré, correntes e ondas, considerando como critério de projeto períodos de retorno de eventos extremos.

Erosões e solapamentos devem ser evitados pelo estudo dos padrões de transporte de sedimentos adjacentes aos CDF's nas áreas de escoamento de água.

Dados meteorológicos

Dados meteorológicos são essenciais para o cálculo do balanço hidrológico no CDF. É importante que se obtenham dados sobre a precipitação e sua distribuição anual, temperatura média para cada estação do ano, rumo dos ventos dominantes, força média do vento e freqüência dos eventos de maiores tempestades. Sem estes dados é impossível avaliar as restrições operacionais ou estabelecer critérios de projeto.

Uso do solo e análise de impacto ambiental

Um local para criação de um CDF é disputado para outros tipos de uso do solo como urbanização, recreação, agrícola, ou reserva natural, tornando-se cada vez mais difícil encontrar áreas para disposição confinada.

Sócio-economicamente, a implantação deste tipo de estrutura gera um impacto de conseqüências sociais e culturais às populações humanas alterando a forma como a população vive, trabalha, se diverte, relaciona-se, organiza-se para atender às suas necessidades. É importante considerar as percepções da qualidade do meio ambiente onde está inserida esta população.

Uma análise da ocupação do solo deve levar em consideração os seguintes fatores:

- Área disponível e capacidade volumétrica de acumulação para conter o material ao longo da vida útil do local.
- Configuração do local e acesso.
- Proximidade de meio ambiente ecologicamente sensível.
- Topografia, visando incluir potenciais modificações de cotas e padrões de escoamento superficial e drenagens adjacentes.
- Potenciais alterações do tipo existente de habitat.
- Potencial de contaminação direta, ou por movimentação, de aproveitamentos agrícolas.
- Assentamento geográfico dos habitantes locais.
- Uso do solo, presente e futuro, do projeto e área vizinha.
- Restrições de uso do solo como, por exemplo, pela proximidade de mananciais.
- Acesso potencial ao local por parte do público.
- História e tradições locais.
- Política e regulamentações locais.
- O proprietário do local e da área ao redor.
- Proximidade de áreas urbanas ou industriais.
- Proximidade de área pesqueira ou de aqüicultura.
- Proximidade de áreas de beleza natural.
- Proximidade de infra-estruturas culturais.
- História de contaminação do local proposto.

7.4 – Processos e Potenciais Impactos Ambientais

Introdução

O conceito de impacto ambiental pode ser definido como a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais, provocada pela ação humana. Tomando como principio esta definição, é importante que sejam conhecidos os processos físicos, químicos e biológicos básicos no interior e entorno dos CDF's, para que se possam caracterizar os potenciais impactos nas vizinhanças. A principio, a preocupação essencial é a contenção dos contaminantes e do material dragado.

Processos Sedimentares

O material dragado, quando disposto num CDF é submetido a uma variedade de processos físicos, desde a adição de água no processo de dragagem, passando pelos processos de sedimentação no CDF e concluindo com a fase de consolidação e secagem.

No processo de enchimento, flocos e torrões de partículas do material dragado são desintegrados por turbulência ou forças mecânicas. Este processo favorece a atuação de processos químicos, pois a superfície ativa do sedimento aumenta consideravelmente. Na sedimentação e na consolidação ocorre a formação de novos flocos pela adição de agentes floculantes ou mesmo pela presença da água salobra, reduzindo a atividade superficial e estabilizando o material.

Nas instalações em que o material é bombeado no CDF com água livre, o processo inicial é a decantação das partículas individuais ou dos flocos. O tempo de decantação depende da velocidade de queda dos grãos ou flocos, que é função do tipo de sedimento e da profundidade da água no CDF. A diferença nas velocidades de queda produz uma gradação seletiva do material, com as frações mais grosseiras localizando-se próximo à saída da tubulação de recalque e as frações mais finas localizando-se em áreas com menor turbulência.

A consolidação é guiada pelo carregamento do sedimento sobrejacente, que elimina a água intersticial do material. A velocidade deste processo é função do tamanho das partículas do sedimento e das condições do balanço da água de drenagem do CDF, podendo o processo levar até décadas para ser concluído.

Balanço de Água no CDF

Dependendo do tipo do processo de dragagem aplicado, o material dragado disposto no CDF pode conter alta proporção de água. Na operação de um CDF, deve-se sempre atentar para o gerenciamento desta água, ou seja, o balanço hídrico deve ser muito bem monitorado.

As prováveis fontes de água de um CDF são:

- Água provinda do processo de dragagem
- Água provinda do processo de consolidação
- Precipitação pluviométrica
- Infiltração no CDF pelos seus contornos laterais e pelo fundo
- Galgamento por ondas

Os possíveis sumidouros de água de um CDF:

- Infiltração pelos diques e pelo fundo
- Escoamento superficial a partir de precipitação pluviométrica
- Extravasamento de efluente durante o enchimento
- Evaporação.

Em certos casos, como contenções permeáveis em áreas costeiras ou estuarinas influenciadas pelo regime de marés, os níveis d'água interno e externo ao CDF estão sempre em defasagem, propiciando uma troca de água que pode resultar no transporte de contaminantes para fora do CDF.

Os aspectos relacionados com o balanço hídrico são também importantes para este processo, isto é, extravasamento durante o enchimento, infiltração pelos diques e fundo do CDF e o sistema de drenagem.

Processos Químicos (oxidação, redução e difusão)

Os processos químicos, assim como os processos biológicos que atuam no CDF são dependentes da disponibilidade de oxigênio. Assim, se o material dragado é disposto sob o nível d'água do CDF, ele estará sob condições anóxicas, mesmo se durante o processo de dragagem, transporte e enchimento tenha acontecido alguma oxidação. Caso o mesmo seja disposto acima do nível d'água, ocorrerá troca de oxigênio durante o processo de secagem e consolidação, proporcionando uma possível maior mobilidade dos contaminantes, podendo os mesmos serem transportados para fora do CDF pela água ou pelo ar.

Processos Biológicos

Os processos biológicos que ocorrem no sedimento controlam a atividade dos processos químicos, através de sua influência nas condições de oxigenação. Os sedimentos usualmente contêm uma quantidade significativa de matéria orgânica que é utilizada por bactérias como fonte de alimento. Este metabolismo bacteriano consome o oxigênio livre, passando para o metabolismo sob condições anóxicas, fazendo com que a redução dos sulfatos torne-se a maior fonte de energia. O metabolismo fundamentado no sulfato aumenta o pH da água intersticial.

Como citado no item referente aos processos químicos, os metais presentes no material dragado que estão sob condições anóxicas são estáveis, mas uma vez introduzido oxigênio no sedimento, ocorre o favorecimento da formação de muitos poluentes mais solúveis e voláteis pela reação de oxidação.

Além das atividades microbiológicas, a superfície de um CDF seco pode ser recoberta por vegetação natural, que pode estabilizar a superfície e proteger contra a erosão produzida pelo vento. A absorção de substâncias químicas por esta vegetação pode-se tornar um problema caso a mesma seja transportada para fora do CDF.

Impactos Ambientais

Os potenciais impactos ambientais dos CDF's incluem impactos físicos nas vizinhanças; liberações de contaminantes através de vários fluxos, incluindo o efluente durante o enchimento, escoamento superficial quando de precipitações pluviométricas, lixiviação para a água subterrânea, volatilização para o ar e contaminação por plantas e animais; e outros impactos potenciais, tais como níveis de ruídos, considerações visuais e de movimentação.

Impactos Causados Pela Construção do CDF

A construção do CDF pode acarretar na ocorrência dos seguintes impactos:

- **A degradação do habitat aquático ou terrestre existente**: A remoção de um habitat pelo soterramento sob um CDF constitui freqüentemente no efeito direto da construção de um novo CDF. Interferência nos deslocamentos e ruído podem também ter um impacto na vida selvagem local.

- **Alteração da topografia**: Um CDF totalmente emerso aparenta ser uma colina, ou um maciço na paisagem. O material disposto no CDF não é visível do exterior, uma vez que a maior impressão visual reside nos diques. A vegetação no perímetro externo do CDF aprimora significativamente a estética de um CDF em terra firme. Os CDF's junto à margem ou marinhos apresentam a aparência de penínsulas ou ilhas. Se for mais alto do que os diques em torno ao CDF, o material disposto no interior do CDF poderá ser visível a partir da costa.
- **Mudanças nas condições hidrológicas:** A construção de um CDF na água terá um impacto nas ondas e correntes de magnitude proporcional à sua localização e seu tamanho. Se construído em um local de alta energia, o CDF promoverá grandes efeitos no regime hidráulico. O CDF também pode aumentar o risco de inundação à montante de rios e estuários. Pela alteração do padrão de acumulação ou erosão os CDF's localizados em áreas com grande dinâmica de transporte de sedimentos poderão em áreas abrigadas proporcionar a sedimentação, enquanto nas áreas que estarão mais expostas proporcionarão erosão.

Os impactos acima enumerados são proporcionais à capacidade do sítio e modelos hidráulicos podem ser utilizados para a predição das mudanças nos padrões de circulação das águas superficiais e subterrâneas.

Impactos Causados na Operação dos CDF's

Em princípio, durante a operação dos CDF's, os impactos potenciais estão relacionados à presença de contaminantes no material dragado. Componentes prejudiciais podem migrar da área de confinamento, poluindo os solos em volta, o ar e as águas subterrâneas ou superficiais. A flora e fauna aquática e terrestre podem ser afetadas por efeitos tóxicos e de bioacumulação. Outros impactos estão relacionados à deterioração da qualidade da água superficial.

Os impactos por contaminantes de maior ocorrência e relevância podem ser divididos em:

- **Alteração da qualidade das águas**: Um CDF pode liberar contaminantes para a água superficial ou subterrânea, seja diretamente pelas descargas do efluente ou do escoamento superficial, seja pela infiltração e lixiviação através dos diques e pelo fundo.

- Efluentes: Com relação aos efluentes, os efeitos negativos podem surgir a partir da grande proporção de material sólido suspenso e dos contaminantes associados. Os contaminantes podem também se encontrar presentes em sua forma dissolvida.
- Escoamento superficial: Conforme o grau de saturação da camada superior do material depositado, o escoamento pode conter maior ou menor concentração de sólidos suspensos. Geralmente, quanto maior o grau de saturação, maior será o nível de sólidos suspensos induzidos pela precipitação. Contudo, se a superfície estiver seca, haverá uma probabilidade menor de carreamento pela chuva, mas uma possibilidade maior de se originar um ambiente ácido, contendo elevado grau de metais pesados e micropoluentes orgânicos.
- Percolação: O produto do escoamento do depósito de material dragado é chamado de chorume e sua composição varia desde a alta concentração de metais pesados à presença de micropoluentes orgânicos. O transporte do chorume para fora do local de confinamento pode ocorrer por três formas: pela expulsão da água retida nos vazios; pelo escoamento provocado pela diferença da carga hidráulica; pela difusão de contaminantes, governada por diferenças de concentração.

- **Alteração da qualidade do ar**: São dois os principais fatores que podem afetar a qualidade do ar nas vizinhanças do CDF. O processo de oxidação de materiais ricos em conteúdo orgânico tende a gerar uma grande quantidade de gases, principalmente metano, dióxido de carbono e compostos de enxofre, que em circunstâncias normais terão somente o cheiro afetando seu entorno. Se o material dragado contiver elevados níveis de compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno, etc), também existe uma possibilidade de liberação desses componentes para a atmosfera durante e após a disposição. A volatilização pode apresentar risco se a troca com o ar livre acima do CDF for limitada. No caso de materiais altamente contaminados será necessária a proteção dos trabalhadores através de máscaras e outros equipamentos especiais. A volatilização dos contaminantes pode apresentar um risco se a troca com o ar livre acima do CDF for limitada.

- **Absorção de contaminantes por vegetais e animais**: As áreas de disposição começam a ser colonizadas pela flora e pela fauna durante os estágios iniciais do preenchimento dos CDF's e se fixa quando o preenchimento cessa e o local adquire lentamente as características de uma área natural. A liberação de substâncias químicas que possam ser absorvidas na cadeia alimentar é o efeito ecológico mais severo de um CDF, pois apesar de, em termos gerais, representar uma parcela extremamente pequena de saída de contaminantes, pode ser bastante prejudicial por sua ação direta e potencial de distribuição pelos organismos componentes da cadeia. Os componentes, por exemplo metais pesados, são freqüentemente não degradáveis na natureza ou degradam-se muito lentamente, e a concentração tende a aumentar com o nível da cadeia alimentar. Há também que se considerar que a interferência nos deslocamentos e ruído podem ter um impacto na vida selvagem local.
- **Influências no tráfego:** O enchimento dos CDF' s em terra firme muitas vezes é realizado por material transportado por caminhões, ferrovias, esteira transportadora ou tubulação. Os CDF's são projetados para receber durante sua vida útil um grande volume de material dragado, da ordem de milhares de metros cúbicos, desta maneira, torna-se necessário que as redes ferroviárias e rodoviárias sejam suficientes para atender todo fluxo de transporte de material, nos casos em que o transporte é realizado exclusivamente por via terrestre.

7.5 – Medidas de controle

Visando a redução dos impactos físicos gerados pela operação do CDF's, deve-se focar na redução do volume de material dragado. A redução deste volume pode ser obtida por:

- Mudança no tipo de operação de dragagem, como o decréscimo da concentração do material bombeado por tubulações de recalque ou mesmo pela substituição das dragas hidráulicas por equipamentos mecânicos.
- Remoção do excesso de água proveniente da dragagem e separação do material.

- Melhorias nas condições de remoção de água com a utilização de drenos à vácuo ou por gravidade
- Remoção do material da superfície do depósito após a consolidação objetivando o uso de tratamentos naturais e o uso benéfico posterior.
- Reaproveitamento do material dragado para criação de novos habitats, utilização em recreação ou projetos paisagísticos.

O gerenciamento dos contaminantes pode ser dividido em três classes:

- **Medidas operacionais:**

Alguns procedimentos operacionais utilizados nos depósitos podem ser utilizados afetando os diferentes percursos dos contaminantes e, simultaneamente, conflitando com os objetivos de manejo do material dragado. Por exemplo, o aumento das condições de represamento pode ter um efeito benéfico no efluente, no galgamento, na evaporação e na ingestão de contaminantes através de um aumento do tempo de retenção da água, porém, ao mesmo tempo, pode aumentar a percolação na área do depósito e entrar em conflito com a capacidade de retenção do próprio CDF.

a. Reuso do efluente como água de carreamento

Esta medida destina-se a diminuir o volume do efluente e, conseqüentemente, a carga de material em suspensão e contaminantes a ela associados. A concentração de contaminantes dissolvidos no efluente depende de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Desta forma, é possível que com o aumento do tempo de retenção da água no sistema, o nitrogênio solúvel (nitrato e amônia) se acumule na água retida, resultando em elevadas concentrações no efluente, quando este for descarregado.

b. Criação de uma Zona de Sedimentação Estimulada

Consiste no isolamento do ponto da descarga do resto da superfície de confinamento, através de uma estrutura metálica ou de concreto formando uma zona de “tranqüilização” onde se garanta efeitos reduzidos de vento e condições adequadas de sedimentação. Dosagens controladas de substâncias floculantes podem aumentar ainda mais a eficiência do processo.

c. Criação de Zonas de Amortecimento (Buffer Zones)

Durante períodos com predominância de ventos que ocasionam a elevação das concentrações de sólidos suspensos no efluente, a descarga de efluentes é temporariamente interrompida. Quando as condições voltam ao normal, o efluente retido é descarregado a uma taxa mais elevada. Esta medida consiste, portanto, no controle da descarga da estrutura, conforme as condições existentes.

d. Manutenção das Condições de Saturação da Água no CDF

Através da manutenção das condições de saturação obtêm-se certas características (meio neutro ou levemente alcalino, condições anaeróbicas) que promovem a imobilização dos contaminantes. Por outro lado, ambientes secos (condição aeróbica, meio ácido) aumentam a mobilidade e, conseqüentemente, a biodisponibilidade dos mesmos.

e. Processos Naturais de Tratamento dos Contaminantes

A biodegradação natural – aeróbica e anaeróbica – vem, cada vez mais, ganhando terreno como uma técnica promissora. Esse processo utiliza a proliferação *in situ* de microorganismos naturais como decompositores de contaminantes orgânicos. Com isso, reduz-se consideravelmente o tempo de degradação das substâncias contaminantes. Porém, para que esta técnica seja efetiva, é necessário que a biodegradação se processe em maior velocidade do que os processos de migração de contaminantes para fora do CDF, tais como a percolação e a volatilização.

- **Medidas de isolamento:**

a. Seleção apropriada do local

Locais com solos de baixa permeabilidade, que atuam como revestimentos naturais, ou com condições geohidrológicas favoráveis, podem reduzir ou eliminar a necessidade de outras medidas de controle, com redução de custos e tempo de construção.

b. Revestimentos

Os revestimentos previnem a percolação de contaminantes para fora dos CDF's, evitando prejuízos adversos ao ambiente externo da estrutura de

confinamento. Os revestimentos podem ser naturais ou artificiais. Os revestimentos naturais incluem a argila, turfa e siltes fracionados, especialmente dispostos, oriundos de material dragado. Em adição ao isolamento físico, estes materiais também possuem grande capacidade de adsorção de contaminantes, sendo esta característica predominante na turfa, devido ao seu alto teor de carbono orgânico (humus). Os revestimentos naturais são especialmente interessantes tanto financeira quanto tecnicamente. Possuem uma vida útil que pode variar de 100 a milhares de anos, enquanto que os revestimentos sintéticos possuem uma duração bem mais reduzida, da ordem de 30 a 50 anos. Especificamente no que concerne à argila, deve se tomar certos cuidados com ácidos orgânicos e inorgânicos que podem dissolver porções das camadas por esta formada. Os revestimentos artificiais incluem concreto comum, concreto betuminoso, bentonita, membranas betuminosas e membranas sintéticas. O revestimento artificial mais utilizado é o de membranas sintéticas, que são bastante variáveis não somente em suas propriedades físicas e químicas, como também, nos procedimentos de instalação, custos e compatibilidade química com os efluentes. Entre as membranas mais comuns estão as de PVC (Polivinilclorídrico) e as de Polietileno de Alta Densidade (HDPE – High Density Polyethylene). A vida útil dessas membranas é reduzida à medida que são expostas a fluidos que causem sua dilatação e conseqüente aumento da permeabilidade, perda da tensão e resistência. A escolha da membrana mais adequada depende do tipo de subsolo, do nível de água subterrânea, da permeabilidade e da resistência química e mecânica.

c. Capeamento

O capeamento consiste na cobertura da superfície do material consolidado com uma camada limpa de baixa permeabilidade. Este método é muito eficiente para o controle dos diversos caminhos de contaminação. Os mesmos materiais descritos para revestimento podem ser utilizados para o capeamento; contudo, para capeamentos artificiais, deve ser instalado um sistema de remoção de gases para evitar danos à cobertura.

d. Isolamento Geohidrológico

O isolamento geohidrológico consiste no controle das condições naturais do fluxo de água subterrânea o que pode ser feito através da regulação do nível de água.

- **Tratamento antes da disposição.**

O tratamento antes da disposição é uma medida que reduz sensivelmente os riscos de impactos ambientais na operação dos CDF's. Os processos incluem a redução da quantidade de material para disposição, e a redução, remoção e imobilização de contaminantes, conforme apresentado no capítulo 6.

A Tabela 4 apresenta um resumo das principais medidas de controle (operacionais e de isolamento) que podem ser aplicadas no gerenciamento de contaminantes.

Tabela 4 - Medidas de Controle para gerenciamento de material contaminado proveniente de dragagem

Tipo de controle	Medidas de Controle
Contorle de Efluentes	
Para reduzir o volume de efluentes	Utilização de dragas e métodos de disposição mecânicos, ao invés de processos hidráulicos.
	Aumentar o conteúdo de sólidos secos através da otimização das técnicas de dragagem.
Para reduzir os sólidos suspensos e contaminantes associados	Melhorar as condições de decantação através da compartimentação do CDF, do aumento do tempo de retenção e da criação de zonas de sedimentação estimuladas.
	Controlar as descargas de material dragado no CDF, utilizando difusores, taxas de bombeamento mais reduzidas e vários pontos de descarga.
	Controlar a erosão induzida pelo vento através do aumento da altura do dique ou da profundidade do CDF e utilizando zonas de amortecimento.
	Tratamento de efluentes através da própria sedimentação, da clarificação e da filtração.
Para reduzir os sólidos em suspensão e contaminantes dissolvidos	Tratamento dos efluentes através da coagulação/floculação, da nitrificação, da adsorção e da troca iônica.
Controle da Percolação	
Para reduzir a produção de chorume	Desidratação (drenagem superficial e subsuperficial)
	Plantação de vegetais para aumentar a secagem.
	Aperfeiçoar a consolidação, através da diminuição da permeabilidade do material (dispondo o material em camadas espessas)
	Capeamento
Para reduzir a mobilidade dos contaminantes / dispersão	Projeto específico, visando a redução das superfícies de contato com o subsolo.
	Manutenção de condições anóxicas.
	Manutenção do pH básico em condições de oxidação.
	Plantação de vegetais, para a redução de contaminantes.
	Coleta e tratamento do chorume.
	Bio remediação natural.
	Seleção dos sítios de deposição visando a utilização de barreiras naturais.
	Controle geohidrológico.
	Capeamento.
	Revestimento da área de contato com o solo local.

Controle do Escoamento Superficial	
Para evitar a erosão do CDF	Manutenção das condições de represamento da água.
	Capeamento.
Para reduzir as perdas de metais solúveis	Manutenção das condições anaeróbicas na camada superior.
	Recobrimento da superfície com cal para prevenir a acidificação.
	Criação de uma zona de floculação além do vertedor.
	Coletar e tratar o escoamento (adsorção e troca iônica).
Para reduzir os sólidos suspensos e contaminantes associados	Coletar e tratar o efluente (sedimentação simples, clarificação ou filtração).
Ingestão Direta de Contaminantes por Vegetais e Animais	
Para prevenir a migração de contaminantes para a cadeia alimentar	Manter as condições de represamento da água.
	Tratar com cal ou outros produtos químicos.
Minimização da ingestão de contaminantes	Plantio de vegetação seletiva.
	Capeamento.
Contaminantes Atmosféricos	
Para reduzir as emissões de gás ou poeira	Capeamento.
Para reduzir a poeira	Estabilização física, vegetal ou química do solo superficial.

7.6 –Monitoramento

7.6.1 – Plano de Monitoramento

Um programa de monitoramento para um CDF deve determinar se o local é eficiente na retenção do material contaminado e no controle dos fluxos das liberações dos vários contaminantes. Para evitar monitoramentos desnecessários de todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos e recursos no e ao redor do empreendimento, os objetivos do programa de monitoramento devem ser claramente enunciados.

Um efetivo programa de monitoramento indicará se o local atende às premissas de projeto aplicáveis à construção e autorização do projeto e se:

- As medidas preventivas e mitigadoras são efetivas;
- Os processos no CDF funcionam como desejado;
- Os sistemas de proteção ambiental estão funcionando perfeitamente como desejado;
- Os impactos do projeto sobre o ambiente estão documentados;
- As condições de permissão para o CDF foram atendidas.

Um programa detalhado de monitoramento e gestão deve ser desenvolvido após a escolha do local e quando o projeto estiver bem desenvolvido. Durante o projeto de um CDF adotam-se premissas. O monitoramento é freqüentemente utilizado para desenvolver e verificar estas premissas de projeto.

Podem-se relacionar as seguintes componentes para um plano de monitoramento em linhas gerais (devendo ser especificada para cada caso):

- Sedimentos: caracterização física, química e biológica;
- Água ao redor: caracterização química, de circulação de correntes e de clima de agitação;
- Água subterrânea: caracterização química, velocidade e direção do fluxo e níveis;
- Solo: caracterização química e biológica;
- Lixiviação e quantidade de água retornando – concentração de material em suspensão, caracterização química;
- Habitat e biota;
- Produção de gás;
- Dados meteorológicos;
- Dados geotécnicos dos componentes estruturais;
- Distúrbios como a emissão de gases ou ruído a partir dos trabalhos de construção.

Os objetivos do monitoramento nas estruturas de confinamento durante e após a disposição podem ser divididos em 4 grupos:

- **Monitoramento das instalações** – Inclui fatores de interesse como a integridade física e o funcionamento, os elementos estruturais (drenos, tubulações, diques), as estruturas de isolamento (revestimentos), as instalações de tratamento e a infraestrutura circundante (estradas, etc).
- **Monitoramento das operações de disposição** – Os fatores de interesse incluem a velocidade de descarga, o grau de preenchimento e a profundidade do local.
- **Monitoramento do processo** – O monitoramento dos processos dá-se muitas vezes através da interpretação de uma combinação de observações, incluindo a compactação do lodo dragado, diagênese, formação de gás e o aparecimento de reservatórios de água doce.

  Na compactação, o peso do lodo promove o aumento da densidade e a diminuição do volume depositado. Compactação é um dos fatores que poderá decidir quanto de material dragado poderá ser disposto em um determinado local.

  Em relação à diagênese (conjunto de processos de decomposição de matéria orgânica presente no material dragado), as concentrações de várias

substâncias promovem maiores impactos em parâmetros ambientais como o pH, o potencial redox, carbonato, sulfeto e a presença de certos complexos como o húmus.

A formação do gás (especialmente do metano e do dióxido de carbono) ocorre pela decomposição da matéria orgânica presente. O gás ocupa espaço e afeta a compactação do lodo e por essa razão há impacto na capacidade total de armazenamento.

O aparecimento de reservatórios de água doce é resultado da infiltração de água de chuva sobre os diques confinados em conjunto com o afloramento da água contida no material dragado. Se a diferença de densidade é suficiente, esse reservatório pode subsistir como unidade hidrológica independente da água salgada. Uma vez formados, esses reservatórios podem funcionar como isolantes pois retardam e limitam a dispersão de poluentes.

- **Monitoramento de emissões** – Inclui o monitoramento dos fluxos de água (efluentes durante o preenchimento, escoamento superficial e percolação), corpos d'água expostos (superficiais e subterrâneos), ruído, poeira e odor.

7.6.2 – Monitoramento inicial

É importante que medições adequadas sejam tomadas como referência antes da construção e do início das operações de enchimento. Se possível, o levantamento inicial deve ser conduzido de tal forma que permita a medição das variações com as estações, níveis de água subterrânea, marés, etc.. Isto pode requerer medições ao longo de um período de meses, ou mesmo maior. Se estiverem disponíveis, dados existentes devem ser utilizados.

O monitoramento pré-operacional do material em suspensão é especialmente importante nos projetos de capeamento, ou para o preciso controle da disposição e capeamento dos materiais contaminados.

7.6.3 – Monitoramento durante as operações

- **CDF's submersos**

Num projeto de capeamento, o monitoramento é principalmente necessário para a determinação da cota dos materiais durante a disposição e da espessura do capeamento para garantir a construção de um eficiente capeamento.

Nos CDF's submersos o CDM está em contato com as águas ao redor durante a disposição. Neste caso pode ser necessário monitorar as condições nas águas no seu entorno.

- **CDF's em terra firme e junto à margem**

Para um CDF em terra firme ou junto à margem, o programa de monitoramento das principais componentes físicas deve incluir a estabilidade e integridade do dique, acomodação do maciço, estabilidade dos taludes.

O monitoramento pode incluir a amostragem do efluente, escoamento superficial e lixiviação, sedimentos e água intersticial para obtenção de perfis químicos a partir de amostras ou poços. O monitoramento da lixiviação ou da água subterrânea pode detectar uma falha no sistema de selagem quando a concentração de parâmetros específicos exceda critérios pré-estabelecidos ou normas ambientais.

O plano de monitoramento para um CDF junto à margem é semelhante, entretanto a taxa de descarga do efluente será influenciada pela cota de água externa ao dique. É mais difícil analisar o efeito da lixiviação na água subterrânea do que num local em terra firme, porque há mais impactos externos nas cotas da água subterrânea e nos escoamentos. Os impactos na água subterrânea dos locais em terra firme podem incluir impactos nos suprimentos de água potável, uma vez que a água subterrânea é também um importante veículo de transporte de contaminantes para a área junto à margem do CDF.

- **Materiais no CDF**

O CDM no CDF deve ser amostrado e testado para verificar-se o atendimento aos critérios de projeto. Se os resultados forem significativamente diferentes dos critérios de projeto, uma mudança na classificação dos materiais poderá exigir a aplicação de padrão de operação mais restritivo.

7.6.4 – Monitoramento após a conclusão

O monitoramento ambiental de longo prazo de um projeto de capeamento pode ser necessário para garantir que o capeamento construído seja efetivo no isolamento dos contaminantes e que a integridade de longo prazo do capeamento se mantenha.

O conjunto de parâmetros que devem ser monitorados e os intervalos de tempo para o monitoramento dependem dos casos e dos locais, devendo ser periodicamente revistos.

Para CDF's junto à margem, o monitoramento de longo prazo pode incluir a contaminação por captação em plantas e animais no local, medidas através de análise química de biomassa nos tecidos. Para a previsão desta captação e o estudo do crescimento, fitotoxicidade, bioacumulação dos contaminantes, bioensaios em populações de plantas e animais podem fornecer informação valiosa sobre a eficiência do projeto e operação do CDF na retenção dos contaminantes.

7.6.5 – Ações de gestão

As ações de gestão a serem tomadas devem ser pré-determinadas. Pode-se citar como exemplos:

- Recuperação de capeamento e vegetação de um local
- Instalação de controles da água subterrânea como poços drenantes
- Recuperação de diques ou sistemas de drenagem
- Reparo ou recolocação de estruturas extravasoras (como vertedores)
- Instalação ou aprimoramento de sistemas de tratamento de água
- Reparo de cercas e comportas
- Recolocação de cartazes de informação ou sinalização

8 – ESTUDO DE CASO

8.1 – Dragagem do Canal de Piaçagüera

8.1.1 – O Canal de Piaçagüera

A ligação aquática de Cubatão com o estuário de Santos, chegando ao Oceano Atlântico é feita pelo Canal de Piaçagüera (Figura 27), formado a partir da dragagem do canal natural dos rios Mogi e Piaçagüera, onde estão indústrias como a Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa) e a Ultrafertil e o Estuário do Porto de Santos (SP). Graças a esse canal, mesmo navios de grande porte e longo curso, como os usados no transporte internacional de cargas, alcançam o porto da Cosipa.

Figura 27– Localização do Canal de Piaçagüera

Fonte: EIA / RIMA – Dragagem do Canal de Piaçagüera

8.1.2 – Descrição do Problema

Pelas suas características geográficas, muito parecidas com as de um rio, o Estuário recebe uma grande contribuição de sólidos em suspensão, tornando-o altamente vulnerável ao assoreamento, reduzindo, portanto, a profundidade da sua via de navegação constantemente (Portal do Governo do Estado de São Paulo, 2006). Como o canal foi aprofundado para dar acesso a embarcações maiores, são necessárias dragagens periódicas de manutenção, a fim de manter a profundidade do canal compatível com o calado dos navios.

A proximidade da região metropolitana de São Paulo, a construção de uma desenvolvida infra-estrutura de transporte rodoviário, ferroviário e portuário, e a disponibilidade local de água e energia elétrica levaram, a partir da década de 1950, à implantação de diversas indústrias de base (siderurgia, petroquímica, fertilizantes) em meio a uma ampla rede de canais estuarinos e extensos manguezais, confinados entre o oceano e as escarpas da Serra do Mar. Esta atividade industrial, de alto potencial poluidor, fez dos estuários de Santos e São Vicente grandes receptores de resíduos tóxicos e efluentes líquidos contaminados. Os poluentes industriais, juntamente com os resíduos e esgotos do Porto de Santos e das cidades da região, provocaram um grave quadro de degradação ambiental, com significativos reflexos na área social e de saúde pública. Este cenário foi agravado, ainda, pela disposição de resíduos sólidos industriais e domésticos em locais impróprios, além dos freqüentes acidentes com derramamentos de óleo e outras substâncias tóxicas nos cursos d'água.

Desde a abertura do Canal de Piaçagüera para navegação, em 1965, foram realizadas 7 dragagens de manutenção, com diferentes formas e locais de disposição final dos sedimentos dragados ao longo dos anos. A última dragagem de manutenção aprovada pelos órgãos ambientais ocorreu em 1996.

Os passivos ambientais mais importantes e complexos correspondem à bacia de evolução e a saída do Canal interno de drenagem C, que apresentam elevada concentração de contaminantes. O Dique do Furadinho foi uma área criada para receber sedimentos (como se fosse um aterro sanitário), devidamente licenciado. No entanto, o sistema de drenagem das águas de chuva, sobre o material contaminado ali depositado, resultou no aporte de contaminantes para o estuário, necessitando de correção.

8.1.3 – Características dos Sedimentos

Os sedimentos do estuário de Santos e São Vicente e do Canal do Porto de Santos estão contaminados por metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, provenientes do despejo de efluentes industriais e efluentes domésticos, gerando assim, um grande passivo ambiental para esta região.

A poluição industrial constitui a principal fonte de contaminantes químicos, não só pela grande diversidade dos poluentes envolvidos em função dos vários tipos de indústrias instaladas, mas também pelo volume lançado, muito superior ao de outras fontes. As fontes de origem portuária são também bastante diversificadas em virtude da ampla pauta de produtos manipulados pelos terminais, especialmente os de granéis líquidos, porém sua contribuição é muito inferior a dos efluentes industriais.

Os esgotos domésticos na região constituem uma grande fonte de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos, levando à eutrofização do ambiente aquático e o comprometimento da qualidade das águas para banho. Além disso, nos efluentes domésticos também veiculam alguns contaminantes químicos como metais pesados, fenóis, clorofórmio e outros compostos presentes em produtos domésticos ou hospitalares.

A disposição de material dragado para viabilizar a navegação é uma forma indireta de contaminação dos ecossistemas estuarinos e marinhos por poluentes de origem industrial, portuária e doméstica. Os sedimentos dos canais da Cosipa e do Porto de Santos foram contaminados durante anos por efluentes industriais e domésticos lançados nos rios e no estuário e sua retirada para desobstruir os canais de navegação acaba por distribuir os poluentes para outros locais anteriormente livres de poluição. O lançamento no mar pode ter impactos que extrapolam as áreas autorizadas para a disposição do material dragado devido ao carreamento pelas correntes marinhas, requerendo seu monitoramento e controle.

Em termos de riscos ecológicos, o quadro atual da contaminação do estuário pode ser considerado altamente propício a efeitos adversos às populações aquáticas que ali vivem, assim como para as diversas espécies de aves que se servem dos bancos de sedimentos como áreas de alimentação preferencial.

O sedimento superficial do fundo do estuário, devido a sua baixa densidade e granulometria muito fina, corresponde a um substrato muito móvel e instável, facilmente ressuspenso e transportado na coluna d'água. A contaminação que este

sedimento carreia não deve ser, portanto, estática e dificilmente serão encontrados padrões bem definidos na distribuição da contaminação em uma escala de poucas centenas de metros, a não ser que ainda existam fontes permanentes de contaminação no estuário.

8.1.4 – A Escolha dos Locais de Deposição

O Canal de Piaçagüera (canal natural) tem uma largura média da ordem de 400 m. No seu eixo encontra-se implantado o Canal de Navegação, objeto da dragagem. O Canal de Navegação tem uma extensão total de 4.500 m, 100 m de largura e profundidade de 12 m; a Bacia de Evolução tem largura aproximada de 750 m e comprimento de 600 m e a mesma profundidade do Canal de Navegação.

O volume de dragagem estimado para o projeto foi o seguinte:

- Volume da Bacia de Evolução: 500.000 m^3
- Volume do Canal de Navegação: 2.000.000 m^3
- Volume Total do Sedimento a ser Dragado: 2.500.000 m^3

Os Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) realizados avaliando diversas alternativas que pudessem atender aos condicionantes ambientais técnica e economicamente, indicaram que a melhor opção de disposição do material dragado seria a disposição dos sedimentos em cavas e áreas confinadas por diques, situadas na propriedade da COSIPA ou em áreas sob sua gestão, representadas pelo dique do Canal C; Dique do Furadinho; cavas confinadas nos largos do Casqueiro, Cubatão e Canéu, e cava submersa no Canal de Piaçagüera, observado na Figura 26.

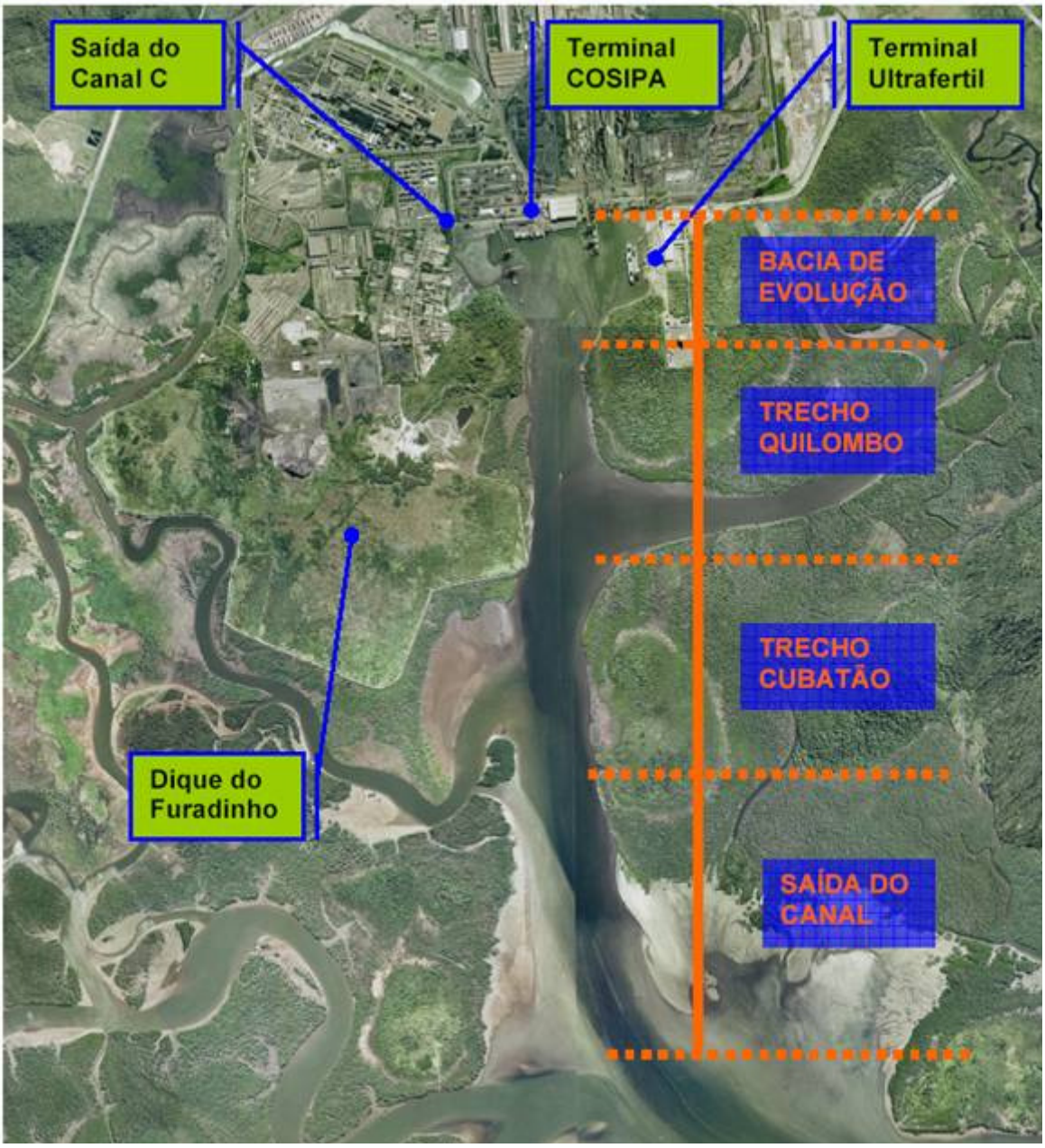


Figura 28–Canal de Piaçagüera – Divisão de Trechos de Dragagem

Fonte: EIA / RIMA – Dragagem do Canal de Piaçagüera

8.1.5 – Concepção Geral do Empreendimento

Além da dragagem do Canal de Piaçagüera para remoção do material assoreado, o empreendimento foi concebido de modo a promover o gerenciamento dos passivos ambientais resultantes da própria dragagem, do material contaminado existente no Canal C e do aterro do dique do Furadinho.

A complexidade do empreendimento, representada pela diversidade das características dos sedimentos e pelos grandes volumes envolvidos, exigiu o

desenvolvimento de um conjunto de soluções voltadas ao tratamento de cada caso em particular, resultando em um conjunto de soluções alternativas e complementares.

O empreendimento foi implantado em fases, como mostra a Figura 28, possibilitando uma melhor programação dos serviços e aferição dos resultados operacionais e ambientais. Para se garantir o gerenciamento adequado, foram estabelecidos os seguintes critérios:

- A disposição dos sedimentos resultantes da dragagem atenderia ao estabelecido na Resolução CONAMA 344/04; ou seja, aqueles sedimentos classificados como Nível 1, ou que estivessem enquadrados entre os Níveis 1 e 2 mas que não tivessem apresentado toxicidade nos testes realizados, seriam lançados em área oceânica, no quadrilátero de disposição de material de dragagem, definido pela Marinha;
- Os sedimentos que não atendessem à condição acima deveriam ser dispostos em áreas de domínio da COSIPA, em condições adequadas para conter os contaminantes presentes nos sedimentos;
- Os passivos ambientais, compreendendo a bacia de evolução e do desemboque do Canal C, dada a expressiva concentração de poluentes muito acima de qualquer outro trecho do Canal de Piaçagüera, deveriam ser isolados e confinados, de forma a eliminar sua disponibilidade ao ambiente;
- Os efluentes gerados pelo escoamento das águas superficiais na área do aterro do Dique do Furadinho deveriam ser gerenciados, de modo a não mais afetar a qualidade da água do corpo receptor.

Deste modo, ficou estabelecida a seqüência de dragagem, conforme mostra a tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Divisão das operações de dragagem em trechos

Fases	Trechos	Volume (m³)	Tecnologia	Destino
I	Saída do Canal de Navegação	800.000	Draga hopper convencional	Quadrilátero de disposição de material de dragagem definido pela Marinha
II	Berços de Atracação	100.000	Clam shell ambiental	Dique do Furadinho (1ª etapa)
			Sucção e recalque	Cava confinada no Largo do Cubatão (1ª etapa)
III	Bacia de Evolução	400.000	Sucção e recalque	Dique no Canal C - inclui o confinamento dos sedimentos contaminados do Canal C
			Sucção e recalque	Dique do Furadinho (2ª etapa) - inclui a remediação do sistema de drenagem, eliminando o aprote de contaminantes para o estuário
IV	Setores Quilombo e Cubatão do Canal de Navegação	1.200.000	Sucção e recalque	Cavas confinadas: Largo do Cubatão (2ª etapa); Largo do Casqueiro; Largo do Canéu
			Draga hopper ambiental	Cava submersa no canal de navegação

8.1.6 – Operação e Gestão dos Processos de Dragagem e Deposição

De acordo com as fases descritas na seqüência de dragagem, buscou-se garantir condições de segurança à navegação e dar uma destinação ambientalmente segura para os sedimentos dragados.

a) Fase I – Saída do Canal

De acordo com a Resolução CONAMA nº 344, o material dragado foi passível de lançamento em área de disposição oceânica (não apresentou toxicidade ou bioacumulação em organismos da região. Caracterização química com maioria dos compostos abaixo de nível 1 e algumas ocorrências entre nível 1 e 2).

O destino aprovado para o rejeito de dragagem foi o quadrilátero de disposição para material dragado definido pela Marinha, localizado entre as coordenadas 24º 04' e 24º 05' S e 46º 18' e 46º 19' W. Para efeito da disposição do material dragado no quadrilátero de disposição, este polígono foi dividido em 9 quadrantes distribuídos uniformemente como mostrado na figura 29. O plano de dragagem estabeleceu que seriam dispostos mensalmente 37.500 m³ de material sólido dragado em cada um dos quadrantes D, G, H e I do quadrilátero de disposição oceânica, totalizando 150.000 m³ mensais.

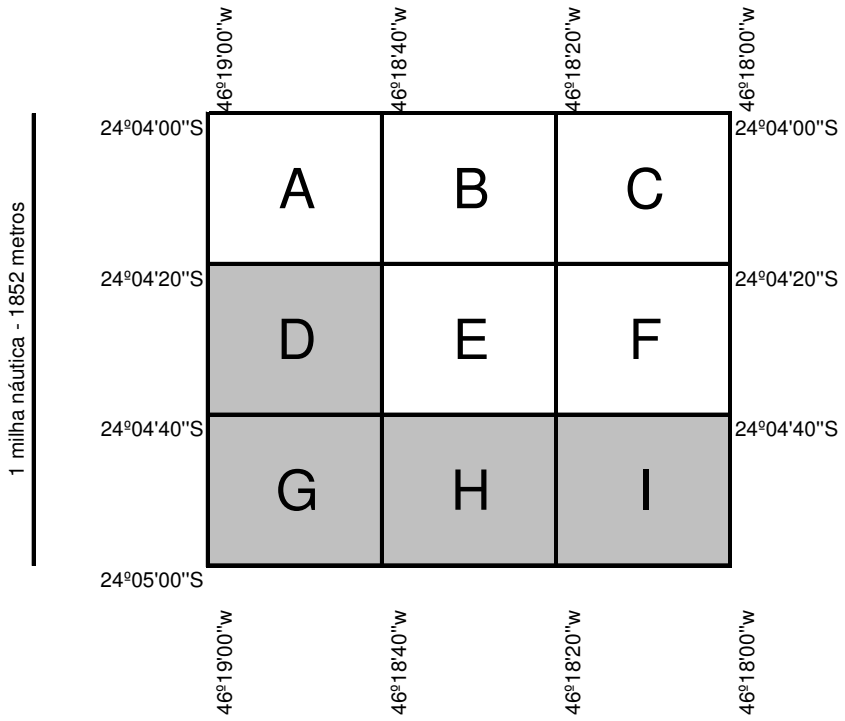


Figura 29– (A) Referenciamento do Quadrilátero de Disposição em Relação ao Litoral Paulista (sem escala), (B)Quadrantes do Quadrilátero de Disposição de Material Dragado

A metodologia empregada nesta fase foi com draga auto-transportadora de sucção e arrasto de capacidade da cisterna 2.800 m³, denominada Hang Jun 3001, escolhida em função da área de descarte encontrar-se à cerca de 26 km de distância e submerso, da limitação de dragagem em 150.000 m³ mensais e por sua operacionalidade associada às medidas de controle ambiental. Este equipamento tinha como principal característica a facilidade em operar em condições especiais devido à sua grande capacidade de manobra, operando sem prejudicar o tráfego das outras embarcações e manter com segurança a dragagem, mesmo em condições desfavoráveis de mar. Foi implantado um sistema de monitoramento por satélite, com dispositivos que indicavam os momentos de dragagem, navegação, paralisação e abertura da cisterna para liberação do material dragado, registrando seu posicionamento nos respectivos momentos. Os dados eram disponibilizados de forma a permitir a verificação das operações a qualquer instante e em tempo real pelo órgão de controle ambiental. Além do posicionamento georreferenciado da draga, foram disponibilizadas informações acerca da quantidade estimada de

material dragado em cada ciclo. As estimativas de volume dragado eram confirmadas ao final de cada mês com a realização de batimetrias.

A dragagem deste trecho teve início em 16/04/2007. Foi paralisada em 22/02/08 por falta de draga para continuidade das atividades. O retorno das atividades de dragagem se deu em 25/01/2009 com término em 31/03/2009. O volume licenciado para dragagem foi de 980.000 m³, sendo que no período de 16/04/07 a 21/02/08 foram dragados 685.586 m³ e no período de 25/01/09 a 31/03/09 dragou-se 240.000 m³.

Dentre os controles ambientais empregados nesta etapa, podem-se destacar como principais:

- Controle de volume dragado (limite máximo de 150.000m³/mês);
- Monitoramento Biológico (análise da comunidade demersal-bentônica, avaliação da estrutura da comunidade bentônica de fundo consolidado);
- Avaliação da qualidade das águas (monitoramento da água de fundo e monitoramento da coluna d'água, com avaliação dos parâmetros físico-químicos, análise de nutrientes como Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Enxofre, análise de metais, bifenilas policloradas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos);
- Avaliação da qualidade dos sedimentos (avaliação dos parâmetros químicos, avaliação ecotoxicológica, comunidade bentônica, monitoramento da pluma de dispersão do descarte de material dragado)
- Monitoramento da área estuarina (local de origem) antes, durante e depois da dragagem;
- Plano de dragagem.

b) Fase II – Berços de Atracação

A Fase II consistiu na dragagem de material contaminado da bacia de evolução, situado junto aos Berços de Atracação, sendo uma área muito assoreada. Os sedimentos desta área eram constituídos de argila mole, resíduos de atividade de carga e descarga, minério de ferro e outros materiais, perfazendo um total de 100.000 m³, o qual de acordo com a Resolução CONAMA nº 344, deveria ser confinado.

Foram estabelecidos critérios de disposição de modo a garantir a segurança ambiental e o controle da poluição:

- A disposição mais confinada possível;
- A mínima geração de efluentes líquidos;
- Para atender à situação de emergência, a solução deveria incorporar um elevado fator de segurança de modo a garantir a confiabilidade necessária.

A dificuldade em conciliar os aspectos de emergência, confiabilidade, logística operacional e produtividade levaram à definição de duas soluções para esta fase:

- Dragagem dos sedimentos com Clam Shell ecológico (que incorpora pouca água ao processo), embarcado em balsa, carregando basculantes, ora em terra ou ora embarcado, conforme a distância do ponto de dragagem em relação ao píer ou cais, e disposição em área especialmente preparada no aterro do Dique do Furadinho, consistindo na construção de um dique de contenção.

- Dragagem por meio de sucção e recalque para uma cava confinada, submersa, construída no largo do Cubatão, com controle do retorno de água para o estuário.

A cava foi cercada por um dique de isolamento para evitar a influência de correntes de marés em seu interior, garantindo o confinamento do material durante a deposição, construído com o material escavado para a construção da cava. Após o enchimento da cava, assentamento e consolidação do material disposto, o dique de contenção seria destruído e o material seria utilizado para o recobrimento da cava de espessura de 2,00m.

As obras dos diques da Unidade de Disposição Confinada (UDC – CDF) foram realizadas durante o período de agosto a novembro de 2006 e compreenderam a construção de diques, sistema de vedação, sistema de drenagem subterrânea e sistema de tratamento de efluentes. O monitoramento e acompanhamento das obras contemplaram, fundamentalmente, o controle dos recalques relacionados às argilas moles presentes nas fundações, de forma a garantir a estabilidade e integridade dos diques durante e após a construção.

Visaram também garantir o funcionamento adequado dos sistemas de vedação e drenagem profunda.

O monitoramento foi realizado por meio de controle topográfico das cotas e dimensões das obras e acompanhamento diário dos recalques provocados pela introdução dos diques. Após a finalização das obras, quando os diques atingiram as cotas finais previstas, foram instalados marcos topográficos e o controle da evolução passou a ser semanal.

A dragagem deste trecho teve início em 03/03/2008 e foi finalizada em 15/08/08, com volume total dragado de106. 000 m³. Podem-se citar como principais controles ambientais empregados nesta etapa:

- Monitoramento de turbidez na área de dragagem;
- Monitoramento de qualidade do efluente lançado da UDC e do corpo receptor;
- Monitoramento de águas subterrâneas ao redor da Unidade de Disposição Confinada;
- Monitoramento das estruturas da Unidade de Disposição Confinada;
- Monitoramento da área estuarina antes, durante e depois da dragagem;
- Plano de Dragagem e Plano de Gerenciamento da Dragagem;
- Plano de Atendimento à Emergência em casos de ruptura da estrutura do dique, transbordamento ou contaminação das águas subterrâneas.

c) Fase III – Bacia de Evolução

Corresponde à dragagem do restante da bacia de evolução, removendo sedimentos altamente contaminados, dando destinação isolada e controlada a este passivo ambiental, juntamente com a construção de contenção de aproximadamente 120.000 m³ de sedimentos existentes junto ao desemboque da drenagem do Canal C, impedindo que seja continuamente carreado para o ambiente estuarino pelas sucessivas dragagens de manutenção da bacia de evolução.

As alternativas de dragagem e disposição propostas para esta fase foram:

- Dique do Canal C com draga de sucção e recalque, isolando a área e cercando-a totalmente através de uma cortina de estacas-prancha estanques;
- Dique do Furadinho com draga de sucção e recalque. Implantação de um sistema de drenagem da área do aterro, dimensionado de modo a controlar a qualidade dos efluentes gerados pelo escoamento superficial, dando a

destinação mais adequada: incorporação no processo industrial ou lançamento no estuário dentro dos padrões aceitáveis.

As operações desta etapa ainda estão em fase de planejamento.

d) Fase IV – Canal de Navegação – Trechos Quilombo e Cubatão

A Fase IV corresponde à dragagem dos sedimentos contidos nos trechos do canal de acesso sob influência dos rios Quilombo e Cubatão, totalizando 1.200.000 m³. De acordo com a Resolução CONAMA nº 344, o material dragado deve ser confinado. Parte deste trecho poderá ser reavaliado para definição da possibilidade de disposição oceânica.

A dragagem deste trecho teve início em 02/12/2008 e ainda está em andamento. Para esta fase, utilizou-se da mesma draga empregada na fase II, sendo o volume total a ser dragado na primeira etapa de 394.000 m³. Para a segunda etapa, o volume a ser dragado será confirmado por batimetria no momento anterior à dragagem.

Assim como na fase II, a disposição do rejeito de dragagem foi confinada na mesma UDC.

Os controles ambientais de maior relevância empregados são:

- Monitoramento de turbidez na área de dragagem;
- Monitoramento de qualidade do efluente lançado da UDC e do corpo receptor;
- Monitoramento de águas subterrâneas ao redor da Unidade de Disposição Confinada;
- Monitoramento das estruturas da Unidade de Disposição Confinada;
- Monitoramento da área estuarina antes, durante e depois da dragagem;
- Plano de Dragagem e Plano de Gerenciamento da Dragagem;
- Plano de Atendimento à Emergência.

8.1.7 – Monitoramento Ambiental

Com base na identificação e avaliação dos impactos ambientais e nas características das áreas a serem afetadas pelo empreendimento, foram definidas as medidas denominadas mitigadoras, ou seja, destinadas a minimizar os impactos negativos e conferir maior sustentabilidade ambiental às obras e às atividades de dragagem a serem implantadas pela COSIPA na região do Canal de Piaçagüera.

As medidas de mitigação têm por objetivo:

- Prevenir e controlar os impactos ambientais avaliados como negativos e que podem receber alguma ação preventiva ou corretiva;
- Minimizar e compensar aqueles impactos ambientais negativos que não podem ser evitados, não havendo como conter a sua ocorrência; e
- Acompanhar o andamento e os resultados das medidas e atividades propostas, tanto durante a fase de obras como no período de operação do Canal de Piaçagüera.

As medidas mitigadoras e compensatórias previstas para o empreendimento foram organizadas em Programas Ambientais de forma a permitir uma articulação entre as diversas ações propostas, otimizando os resultados esperados e permitindo um melhor acompanhamento pelas autoridades ambientais e a sociedade em geral. Os programas estão sendo previstos para serem implantados pela COSIPA, e se necessário, poderá contar com a colaboração ou parceria com outras empresas, organizações locais, instituições de ensino e pesquisa ou mesmo órgãos ambientais, quando dentro de suas atribuições legais.

8.1.8 – Discussão

A partir de 1996 a atenção quanto aos impactos das operações de dragagens proporcionaram um diagnóstico amplo da contaminação e suas origens na região do estuário de Santos, possibilitando a identificação dos principais contaminantes que se constituíram em balizadores para as ações de licenciamento e monitoramento das operações de dragagem nesta região.

A avaliação da qualidade do material dragado em 2004 tornou-se mais ampla com a publicação da Resolução CONAMA 344/04 o que gerou uma maior preocupação com relação ao monitoramento das operações de dragagem. Além da caracterização do material dragado nesta região, alguns requisitos foram implantados para monitoramento das operações que envolvem do descarte do material em águas jurisdicionais:

- Modelagem para avaliação da dispersão física dos sedimentos;
- Levantamento das condições físicas e químicas do sedimento no local de disposição e nas áreas de influência, antes do início da dragagem e durante o eventual monitoramento;

- Análises complementares: sólidos totais em suspensão, salinidade, potencial redox e pH, ecotoxicidade para organismos bentônicos;
- Volume de material dragado;
- Implantação de sistema de monitoramento remoto das operações de dragagem e de disposição;
- Análises eventuais: bioacumulação em organismos aquáticos, mutagenicidade e levantamento da comunidade bentônica.

No caso em estudo, a denominada Fase I do empreendimento, em que foram dragados aproximadamente 980.000 m³ de material proveniente da saída do Canal de Piaçagüera, previu a disposição deste material em corpos hídricos abertos. A disposição no fundo, sem nenhum tipo de proteção, pode ocasionar o asfixiamento dos organismos bentônicos locais, incapazes de migrar para as camadas superiores. Este fator pode, também, ocasionar mudanças na flora e na fauna devido às diferentes propriedades físicas e químicas presentes no material. A dispersão dos sólidos suspensos também pode originar danos diversos, principalmente em ambientes mais sensíveis como recifes de corais, áreas de procriação e locais de desova, o que não se aplica ao caso em questão. Há casos em que uma elevada concentração de sólidos suspensos, mesmo que temporária, pode provocar uma diminuição da atividade da fotossíntese das algas, bem como uma diminuição da mobilidade na área, com interferência na respiração e alimentação dos organismos locais. A disposição também pode ocasionar mudanças no fluxo de água e dos sedimentos, devido às alterações na morfologia do fundo ou o aumento da erosão costeira, nos casos de locais de disposição próximos da costa. Nestes casos, a cobertura do fundo do local de disposição, ou capeamento, apresenta uma significativa contribuição na diminuição dos impactos físicos diretos na área de disposição.

Além disso, a descarga do material por dragas auto-transportadoras ocasiona uma série de descargas discretas em um intervalo de algumas horas. Como a descarga, ao se abrirem as comportas, é quase instantânea o material desce numa coluna d'água como um jato bem definido de um fluído de alta densidade, contendo alguns blocos sólidos. Ao atingir o fundo, uma parte do material se deposita, e outra, pode ser transportada por uma onda horizontal ocasionada pelo impacto dependendo da profundidade da área de descarte, até que a turbulência desta onda

esteja suficientemente reduzida para permitir a deposição do sedimento. Para a redução da quantidade de materiais em suspensão nas áreas de descarte, este método poderia ser substituído pela dragagem mecânica com a utilização de batelões, em que geralmente, o material dragado permanece em grandes grupos consolidados e atinge o fundo com esta configuração. A queda do material na coluna d'água é, em geral, muito rápida e apenas uma pequena quantidade do material permanece em suspensão.

No caso em questão, monitoramentos mais abrangentes incluindo análises voltadas para problemas específicos, como por exemplo, a avaliação da qualidade das águas e dos sedimentos, o monitoramento dos parâmetros ecotoxicológicos e biológicos além do monitoramento da pluma do material dragado com a finalidade de demonstrar a ocorrência de efeitos adversos no ambiente foram aplicados de maneira a reduzir a probabilidade de impactos causados pela atividade de dragagem. Condições específicas de cada local orientam a eventual inclusão / exclusão de análises, bem como a freqüência e a duração do monitoramento.

Nas fases II e IV em que a presença de contaminantes nos sedimentos não permitia a disposição em corpos hídricos abertos, a disposição em CDF tornou-se uma opção de gestão efetiva, sendo esta metodologia de gerenciamento do material dragado inédita no Brasil. O monitoramento das operações de dragagem e do comportamento do material após a disposição deve ser integrado aos projetos, pois permitem colher informações importantes sobre os locais afetados pela dragagem. A implantação de 33 marcos topográficos no CDF após sua construção possibilitou o acompanhamento de recalques diferenciais que porventura poderiam prejudicar a eficiência do sistema, causando, por exemplo, a inversão do fluxo de águas subterrâneas. Além disso, foram adotadas medidas conservadoras no projeto de barreiras hidráulicas e previstas medidas preventivas para o caso de um eventual recalque diferencial com magnitude suficiente para inverter o fluxo da água. Em relação à qualidade do efluente, o monitoramento dos eventuais contaminantes presentes nas soluções percolantes pelo subsolo do CDF e captado pelas barreiras hidráulicas são coletados em caixas de captação e direcionados a um sistema de tratamento físico-químico das águas provenientes do processo de dragagem. Além dos recalques, outras ocorrências relacionadas a eventuais defeitos construtivos no CDF, como por exemplo, rupturas na fundação do dique, transbordamento, ruptura

por erosão do talude de jusante foram consideradas, constando no Plano de Contingência do CDF.

A preocupação ambiental originou uma série de normas de gestão do material dragado tanto em esferas nacionais como internacionais, sendo que é essencial que os grupos envolvidos na avaliação das opções de disposição do material dragado estejam familiarizados com a legislação e regulamentação.

Sendo assim, algumas recomendações podem ser consideradas no processo de disposição do material dragado nos CDF's:

- O efetivo controle de fontes de contaminação para os sedimentos terá como conseqüência a redução da quantidade de CDM que afetam os projetos de navegação e, por conseqüência, reduzirá os custos para a disposição, a necessidade de CDF's adicionais e impactos negativos ao meio ambiente. A dragagem de CDM pode, na maioria dos casos, representar um benefício ambiental genericamente positivo pela remoção de uma exposição não controlada de contaminação ao corpo d'água.
- Uma detalhada e confiável caracterização do material a ser dragado e o potencial local do CDF são essenciais para a tomada de decisão e o processo do projeto, pois permite a racionalização do volume a ser acondicionado através de técnicas específicas, dentre outras a separação por faixas granulométricas
- O processo de locação do CDF deve considerar todos os fatores relevantes relacionados aos aspectos econômico, ambiental, social e operacionais do projeto do CDF.
- Um estudo de impacto ambiental deve ser utilizado para avaliar os conflitos ambientais potenciais da disposição de CDM num proposto CDF num determinado local. Este estudo, juntamente com a seleção final da área, deve servir como base para projetar as características finais do CDF.
- Nas avaliações dos potenciais impactos do CDF , todos os fluxos pertinentes para a liberação dos contaminantes devem ser considerados.
- Para minimizar a liberação de contaminantes será preferível manter os sedimentos dispostos em ambiente anóxico. Os diferentes tipos de locais subaquáticos, junto à margem e em terra firme têm diferentes condições

geoquímicas. Estas condições influenciam a mobilidade do contaminante, seja positivamente, seja negativamente.

- Uma operação apropriada assegurará contenção efetiva do material dragado e contaminantes associados no CDF, de acordo com o projeto.
- Uma variedade de equipamento e técnicas estão disponíveis para a disposição do CDM em CDF's. Os métodos de disposição podem ter uma influência na técnica de dragagem aplicada.
- O monitoramento será conduzido para verificar se os processos no interior do CDF estão procedendo como desejado, os sistemas de proteção ao meio ambiente estão funcionando totalmente como desejado, e se as condições de permissão para o CDF estejam sendo atendidas.
- Um programa de monitoramento para um CDF deve ser projetado para determinar se o local é efetivo na retenção de CDM e no controle das liberações dos diferentes fluxos de contaminantes. Este programa ainda deverá contemplar a avaliação de parâmetros físico-químicos, biológicos e ecotoxicológicos visando a proteção dos ecossistemas aquáticos.
- Planos pré-definidos de ação para a correção de quaisquer violações dos valores pré-estabelecidos de soleira devem existir.
- Dependendo do projeto do CDF, algumas atividades de gestão de longo prazo são necessárias para garantir a integridade do CDF. Estas podem incluir o monitoramento, inspeções periódicas, manutenção de rotina das instalações, aprimoramento dos equipamentos e reparos.
- O uso benéfico do CDF seguindo-se ao seu fechamento deve ser considerado, quando for apropriado. As atividades de gestão de longo prazo devem ser hierarquizadas para permitir a avaliação da utilização benéfica.

Ainda com relação à fase II, as atividades de dragagem foram interrompidas em razão da falta da draga e retomadas após um período de 6 meses. Esta é uma área estuarina, com volume de retorno de material muito grande, o que potencializa o processo de assoreamento. Assim, o volume de dragagem inicialmente estimado pode não ter atendido aos requisitos de projeto com relação as cotas de fundo, já que neste período de paralisação o processo de assoreamento foi constante. Nestes projetos de dragagem de manutenção, as atividades devem ser planejadas para que

sejam realizadas ininterruptamente de modo que os investimentos financeiros ou mesmo os projetos não tenham que ser revisados.

Por fim, a Resolução CONAMA 344/04 determina simplesmente a interpretação dos dados brutos obtidos na amostragem de sedimentos, induzindo o empreendedor somente ao atendimento dos padrões exigidos. Essa interpretação é bastante limitada, já que para um monitoramento eficaz se faz necessária uma análise crítica dos dados analíticos integrada com outras variáveis por exemplo, verificação da correlação entre dados químicos e ecotoxicológicos com a qualidade e quantidade do material dragado tanto no aspecto espacial como temporal, integrada às condições hidrodinâmicas com a finalidade de explicar o acúmulo ou a dispersão dos contaminantes.

Esta integração de informações é de fundamental importância no julgamento da ocorrência de impactos ambientais pelo órgão fiscalizador. Assim, a avaliação feita por um órgão ambiental deve partir das suposições e conseqüentes conclusões apresentadas pelo empreendedor, cabendo a este órgão a verificação da qualidade dos dados juntamente com a pertinência dos argumentos elaborados pelo empreendedor e a reinterpretação dos dados caso haja uma discordância com as suposições e conclusões apresentadas.

9 – CONCLUSÕES

Com a exigência constante de realização de dragagens portuárias marítimas para a garantia da segurança à navegação, a preocupação com os rejeitos de dragagem tornou-se uma necessidade mundial, alterando de maneira substancial a forma de gestão destes materiais encontrados em fundos aquáticos.

Esses materiais até pouco tempo atrás praticamente não tinham qualquer tipo de aproveitamento, porém estudos têm mostrado que grande parte dos produtos dragados é apropriada para aproveitamento em regeneração de praias, proteção costeira, uso agrícola, melhorias no meio-ambiente e outras muitas aplicações. Desta maneira, a gestão adequada dos materiais dragados tornou-se primordial na execução dos diversos tipos obras de dragagem, implicando numa avaliação cuidadosa dos vários aspectos envolvidos na questão, tornando o material proveniente da dragagem um recurso valioso tanto do ponto de vista ambiental como econômico.

Torna-se necessária uma análise criteriosa dos diferentes métodos de gestão de dragados para a escolha da disposição do material, ou seja, a disposição em corpos hídricos abertos, o confinamento, o tratamento, o uso benéfico, ou ainda, uma combinação destes métodos.

As técnicas de execução e os equipamentos de dragagem vêm se tornando, por sua vez, mais complexos e sofisticados. Na sua escolha é recomendado que se leve em conta a experiência adquirida em obras já realizadas.

O monitoramento das operações de dragagem e do comportamento do material após a disposição deve ser parte integrante dos projetos, uma vez que, além de permitir colher informações importantes sobre os locais alterados pela dragagem, aumenta o conhecimento sobre o comportamento dos sedimentos e dos contaminantes, favorecendo a realização de projetos futuros.

As principais conclusões e recomendações formuladas a partir do que foi analisado neste trabalho podem ser enunciadas como segue:

- Devem ser consideradas todas as alternativas tecnológicas de dragagem, transporte e destinação final do material dragado.
- Cada vez mais é necessária uma avaliação integrada na gestão do material dragado, incorporando a disposição, o tratamento dos resíduos e os usos benéficos.

- As alternativas de disposição final e gestão do material dragado têm que ser cuidadosamente avaliados do ponto de vista de sua aceitabilidade ambiental, viabilidade técnica, econômica e legal.
- É fundamental o desenvolvimento de uma estratégia de gestão de longo prazo para a disposição de materiais dragados, sejam contaminados, ou não.
- É essencial a classificação dos materiais a serem dragados em função de seu impacto sobre o meio ambiente. As informações disponíveis permitem que se estabeleça o limiar dos impactos a partir dos quais se faz necessária uma ação remediadora imediata.
- O objetivo maior da gestão integral dos materiais dragados deve ser a obtenção de soluções duráveis. As soluções a serem adotadas devem incluir a avaliação dos impactos tanto ambientais, quanto financeiros, em comparação com os riscos associados a cada caso.
- Com os investimentos programados na modernização dos portos em todo território nacional, faz-se necessária a realização de estudos de viabilidade para construção de áreas de disposição confinada, como é o caso do Slufter, localizado na Holanda.
- Além disso, a busca por áreas de disposição em corpos hídricos abertos também deve ser considerada para os casos de disposição de sedimentos inertes.

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2005.

ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 10, p. 175-185, jul./dez. 2004. Editora UFPR

BAUMERT, H.P. "Do we need regulations for dredged material in Europe?". River sediments and dredged material as part of the system catchment-coastal sea: policy and regulatory aspects. Marine Safety Institute, Rotterdam, The Netherlands, pp. 19-22, 2000.

CEDA – CENTRAL DREDGING ASSOCIATION – "Informação do web site da CEDA", Delft, 2000.

DEIBEL, I.K., ZWAKHALS, J. W., OPSTAL, A. Th. P. J., "Nine Years Experience in Filling a Large Disposal Site with Dredged Material". In: Proceedings of CATS 3 - Characterization and Treatment of Sediments Congress, 1996, pp. 219-231, Oostende, Belgium.

EHLERS, P. "Das revidierte Helsinki-Übereinkommen"In: KOCH, H.,-J.; LAGONI, R. (eds). "Meeresumweltschutz für Nord-und Ostsee". Zum Zusammenspiel von Völkerrecht und nationalem Umweltrecht. Baden-Baden, 1996.

EIA / RIMA - Dragagem do Canal de Piaçagüera

EPA/USACE – U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY/ U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. "Evaluating environmental effects of dredged material management alternatives – a technical framework". EPA842-B-92-008. November 1992.

EPA – U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. "Selecting remediation techniques for contaminated sediments". EPA-823-B93-001. 1993.

ESTEVES, F. A., 1998, Fundamentos de Limnologia, 2ª edição, Rio de Janeiro, Interciência.

FLETCHER, C. A., BURT, T. N., “Treatment of contaminated Dredged Material: Is it Sustainable?” In: Proceedings of CATS 4 - Characterization and Treatment of Sediments Congress, 1999, pp. 19-30c, Technologisch Instituut vzw, Antwerpen, Belgium.

GERMERT, W. J. Th. van, QUALERNAAT, J., van VEEN, H. J., “Options for Treatment and Disposal of Contaminated Dredged Sediment”, In: Environmental Management and Solid Waste; Dredged Material and Mine Tailings, W. Salomons and U. Forstner (eds), Springer Verlag, Germany, 1994.

GOES FILHO, H. A, VINZÓN, S. B., “Disposición de Material Dragado en Areas Marítimas”. In: Ponencias del IV Seminario del Comité Permanente para el Desarrollo y la Cooperación del PIANC, CD-ROM, 16 Págs. Buenos Aires, Argentina, Nov 2000.

GOES FILHO, H. A., 1979, “Planejamento de Dragagem”, In: Boletim Técnico da Associação Latino-Americana de Dragagem, n° 2, pp 9-20, Dez 1979.

HELCOM. “Convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea area”. 1992.

HERBICH, JOHN B, Handbook of Dredging Engineering – 2nd ed. – McGraw-Hill, Hightstown, New Jersey, USA., 2000.

HINCHEE, ROBERT .E, PORTA, AUGUSTO, PELLEI, MARCO. “Foreword”, In: Proceedings of the 1st International Conference on Contaminated Sediments,” pages ixx, Battelle Press, Venice, Italy, Oct 2001.

HOLLYDAY, B. W., 1998, Personal Communication, USACE, Dredging and Navigation Branch, Operations Division.

IADC/CEDA. “Environmental aspects of dredging”. Guide 3 (Investigation, interpretation and impact). ISBN 90-75254-08-3. 1997.

IADC/CEDA. “Environmental aspects of dredging”. Guide 4 (Investigation, interpretation and impact). ISBN 90-75254-08-3. 1997.

IADC/CEDA. “Environmental aspects of dredging”. Guide 5 (Investigation, interpretation and impact). ISBN 90-75254-08-3. 1997.

ICES – INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA. “Information from secretariat”, Copenhagen, 25.02.2000.

IMO – INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. “The London Dumping Convention – The First Decade and Beyond”, London, 1991.

IMO – INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. “Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matter (London Convention 1972). Compilation of the full texts of the London Convention 1972 and of the 1996 Protocol Thereto ”. LC.2/Circ.380, London, 12.3.1997.

IMO – INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. “Information from secretariat”, London, 28.2.2000.

JIMENEZ, J. A. “Notas sobre sedimentos marinos contaminados y alternativas de actuacion con énfasis en la tecnica de recubrimiento (capping)”. ETSECCPB, Universitat Politécnica de Catalunya, Barcelona. Noviembre 2001.

LABOYRIE, H. P., KAMERLING, G.E., de HAAN, W.F., “The Construction of Large-Scale Disposal Sites for Contaminated Dredged Material”. In: Proceedings of the 14th World Dredging Congress of CEDA, pp 709-722, Delft, The Netherlands, 1995.

LABOYRIE, H. P. “The handling and treatment of contaminated dredged material in the Netherlands”. 2000

LESSA, G., TEIXEIRA, C.E.P., CASTRO, C.B., “Variabilidade da turbidez e taxas de sedimentação na zona costeira de Caravelas (BA): Existem evidências de impactos das atividades de dragagem do canal do tomba nos recifes de coral?”. Laboratório de Hidrodinâmica e Sedimentação Costeira e Estuarina – UFBA, Laboratório de Modelagem Numérica – IO – USP, Museu Nacional – UFRJ, 2005.

LONDON CONVENTION (Scientific group). “Waste assessment guidance: development of waste-specific guidance – draft specific guidance of assessment of dredged material – dredged material assessment framework”. Note by the secretariat for the 23rd Meeting 2000.

MARINE SAFETY INSTITUTE. “Workshop report II Dredged material in the Port of Rotterdam –interface between Rhine Catchment area and North Sea. River sediments and related dredged material in Europe. River sediments and dredged material as part of the system catchment –coastal sea: policy and regulatory aspects”. Rotterdam, The Netherlands, 17-19april 2000.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PORTOS E VIAS NAVEGÁVEIS. “Estudo de Expansão do Porto de Santos”. Brasil, 1970.

NETZBAND, A., “Dredged Material in the Port of Hamburg”, In: European Water Pollution Control, Vol. 4, N° 1, pp.47-54, 1994.

OSPAR COMMISSION – OSLO AND PARIS CONVENTION. “OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material”. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Ministerial Meeting of the OSPAR Commission. Sintra, 22-23.7.1998.

PALERMO, MICHAEL M., “A State-of-the Art Overview of Contaminated Sediment Remediation in the United States”. In: Proceedings of the International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, pp 1-10, Vol S1-3 - Remediation and Beneficial Reuse of Contaminated Sediments, Battelle Press, Venice, Italy, Oct 2001.

PALERMO, MICHAEL M, WILSON, JOSEPH R., 2000, Corps of Engineers Role in Contaminated Sediment Management and Remediation. U.S. Corps of Engineers, Washington, D.C., USA.

PALERMO, MICHAEL M. et al, 1998, Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping, In: Technical Report DOER-1, Us Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.

PIANC – PERMANENT INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION – "Information from the secretariat of PIANC", Brussels, 27.03.2000.

PIANC – PERMANENT INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION – "Management of aquatic disposal of dredged material". Report of Working Group 1 of the Permanent Environmental Commission, Brussels, Belgium, 1998.

PIANC – PERMANENT INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION – "Dredged material environmental guide". Special Report of the Environmental Commission, Brussels, Belgium, 1997.

PIANC – PERMANENT INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION – "Disposal of dredged material at sea". Report of a Working Group of the Permanent Technical Committee II, Brussels, Belgium, 1986.

PIANC – PERMANENT INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION – "La valorisation des produits de dragage". Rapport du Groupe de Travail 19 du Comité Technique Permanent II, Bruxelles, Belgique, 1992.

POINDEXTER-ROLLINGS, M. E., Methodology for Analysis of Subaqueous Sediment Mounds, 1990, Technical Report D-90-2. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg. MS, USA.

REIS, J. L. B. C. ; Licenciamento Ambiental. Anais do 1º Seminário Nacional: a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias, FUPEF, Foz do Iguaçu, p. 185-194, 1999.

ROBERT, M. C. ; PROCOPIAK, L. K. ; FONSECA, A. R. D. . Impactos das dragagens e outras atividades antrópicas na peca artesanal das baías de Paranaguá e Antonina. In: Eliane Beê Boldrini, Carlos Roberto Soares & Eduardo Vedor de Paula. (Org.). Dragagens portuárias no Brasil: licenciamento e monitoramento ambiental. : , 2007, v. , p. 213-231.

ROLLINGS, M. E., ROLLINGS, R., “Consolidation and Related Geotechnical Issues at the 1997 New York Dumping Site”, In: Proceedings of the 15th World Congress of WEDA, pp 1 16, Las Vegas, Nevada., USA, 1998.

SMITS, J., SAS, M., “Maintenance Dredging – The Environmental Approach”. In: Proceedings of the Asian and Australasian Ports and Harbours Conference, pp 455-464, Ho Chi Min City, Vietnam, 1997.

TORRES, R.J., 2000, Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS, Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande, 190 págs.