

CAPÍTULO 5

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS

Sedimentos contaminados representam um dos mais difíceis problemas envolvendo substâncias perigosas, bem como a água gerada durante sua remoção. Acrescente-se a isso, a dinâmica altamente variável da decantação dos sedimentos, que complica tanto as alternativas de tratamento *in situ* como as de remoção, sendo fácil entender a dificuldade de se encontrar soluções efetivas, de baixo custo para a solução do seu destino.

Os contaminantes tendem a se ligar fortemente às partículas dos sedimentos e persistir em ambientes de baixa dinâmica, exceto quando tempestades ou outros eventos mobilizam o material sólido a que estão associados.

Os riscos envolvidos na gestão de sedimentos contaminados não estão limitados àqueles quantificáveis para a saúde pública e os ambientais, mas incluem, também, os riscos socioeconômicos, por vezes não facilmente definidos e avaliados. Esses riscos estão presentes durante a própria aplicação de técnicas para a sua solução, ou posteriormente, como resultado da contaminação residual que muitas vezes estará presente no meio ambiente.

O consenso, atualmente, é de que não existe uma solução definitiva para a questão do gerenciamento de sedimentos contaminados que não envolva riscos ambientais de um ou outro tipo. Cada uma das soluções disponíveis tem vantagens e desvantagens, e impactos positivos e negativos de maior ou menor intensidade.

As decisões sobre a gestão da dragagem de sedimentos contaminados têm, por vezes, sido reduzidas a questões simplistas como “dragar ou não dragar”, o que não é correto, pois antes de se decidir por uma alternativa, ou outra, deve-se estar plenamente consciente dos recursos que se

pretende proteger, e como os sedimentos contaminados poderão colocá-los em risco. Para cada alternativa estudada poderá ser necessária uma metodologia específica de proteção.

No presente caso, o que se busca, fundamentalmente, é impedir que os sedimentos contaminados se dispersem pelo sistema estuarino da Baixada Santista, impactando os meios físico e biótico e trazendo riscos à saúde pública. É, também, importante lembrar, que as dragagens removerão a camada de sedimentos contaminados atualmente existente no Canal de Piaçagüera.

Existem duas grandes linhas de gestão de sedimentos contaminados: a do tratamento *in situ*, e a da remoção seguida de tratamento *ex situ* ou de confinamento dos mesmos. Assim, as dragagens são recomendadas em ambientes onde a contaminação fica restrita a zonas bem definidas, na camada superficial do sedimento, e quando for possível adotar uma alternativa de disposição final ambientalmente segura dos sedimentos dragados.

As questões mais difíceis em relação às dragagens não estão associadas à remoção dos sedimentos, mas sim em como ambientalmente gerenciar sua disposição, a contaminação residual dos sedimentos e a alteração da qualidade da água. Abordagens *in situ* como confinamento e aplicação de cobertura com camada de material não contaminado são efetivas quando algumas questões não podem ser facilmente resolvidas, como o destino final do material contaminado a ser dragado ou se são grandes os volumes envolvidos. Uma importante questão relativa à cobertura é que a mesma pode ser construída e monitorada para assegurar a sua estabilidade.

5.1 A NÃO DRAGAGEM DO CANAL DE PIAÇAGÜERA

Toda e qualquer alternativa de dragagem, transporte e disposição final de sedimentos contaminados do Canal de Piaçagüera envolve riscos e impactos ambientais de maior ou menor relevância para os meios físico, biótico e sócio-econômico. Todos esses efeitos podem, no entanto, ser previstos e quantificados, e, em sua grande maioria, perfeitamente mitigados.

A ação ativa, ou seja, de dragar, é revestida de uma maior capacidade de resposta mitigadora porque é movida pela necessidade imediata de garantir as condições de navegabilidade do Canal de Piaçagüera; de uso não apenas do Terminal Portuário da COSIPA; em termos econômicos e de segurança, as quais já começam a apresentar comprometimento na área dos berços de atracação dos navios e na porção final do canal de acesso, junto à região do Porto Organizado de Santos.

Além dos grandes interesses econômicos e estratégicos envolvidos – pela viabilização da continuidade de uma atividade industrial fundamental para o desenvolvimento do país e dentro dos padrões que vêm sendo exigidos pelo mercado e mantidos pela COSIPA – a dragagem será acompanhada e fiscalizada, em todas as suas fases, por organismos governamentais e não governamentais; tem prazo previsto para início e fim; será monitorada durante a sua realização e após o seu término, a longo prazo, e conta com recursos para atender as eventuais situações emergenciais que se apresentarem.

Ambientalmente, a dragagem e as alternativas de disposição a serem implementadas também serão de grande importância, pelos impactos positivos causados, tais como a geração de empregos para a execução das obras; aumento da arrecadação de tributos municipais; redução do aporte de

sedimentos para a bacia de evolução, reduzindo o seu assoreamento; redução do estoque de contaminantes no ambiente estuarino; criação de habitats para colonização de organismos bentônicos de fundo consolidado; melhoria da qualidade da água, pela retenção de sólidos e contaminantes, e redução da exposição dos organismos aquáticos à contaminação, pelo confinamento dos sedimentos contaminados.

No caso do Dique do Furadinho e da área de lançamento dos efluentes do Canal C da COSIPA – que representam, atualmente, importantes passivos ambientais – a utilização dessas regiões já degradadas, para a disposição final de sedimentos, permitirá a interrupção do fluxo subterrâneo de contaminantes pela fundação, o controle de efluentes do Dique do Furadinho, e a melhoria do controle de efluentes do Canal C, por meio da contenção dos sedimentos contaminados existentes e de uma reordenação da sua drenagem superficial.

Ainda como conseqüências benéficas da dragagem do Canal de Piaçagüera – cuja finalidade precípua é garantir a navegabilidade nos moldes economicamente viáveis – a conservação do canal e sua operação adequada promoveriam a manutenção das atividades da COSIPA, Ultrafertil e Rio Cubatão, garantindo-se, inclusive, o grande número de empregos gerados; aumento da arrecadação de tributos municipais, estaduais e federais; melhoria da capacidade portuária da baixada Santista; redução de incidentes com embarcações, por falta de calado adequado; redução da ressuspensão de sedimentos contaminados, que atualmente ocorre com a passagem dos navios, e controle dos processos de assoreamento que promovem a colmatação do Canal de Piaçagüera e do Estuário Santista.

Em contrapartida, a não dragagem do Canal de Piaçagüera acarretaria em impactos ambientais negativos, muitos dos quais já vêm se manifestando e irão se agravar. A não remoção de sedimentos contaminados, por exemplo, determinaria a perpetuação do potencial tóxico atualmente existente, bem como os riscos à saúde pública, como já apontado pela CETESB. Não dragar o canal e, conseqüentemente, não dar aos sedimentos e seus contaminantes um destino seguro ambientalmente, traria enormes prejuízos econômicos e sociais às indústrias – não apenas de Cubatão – com reflexos na economia local, regional e nacional, pelo aumento de preços de insumos básicos, desemprego, perda de competitividade, e prejuízos causados pelas dificuldades intransponíveis que se estabeleceriam no sistema de transporte terrestre de cargas.

Várias alternativas, compatíveis sob os aspectos ambiental, técnico e econômico, se mostram viáveis para que se proceda a escavação, transporte e destinação dos sedimentos contaminados do Canal de Piaçagüera. Sua aplicação se faz necessária e urgente, dado o aspecto emergencial da dragagem, face ao nível de assoreamento e a necessidade de se manter a navegação no canal, a fim de atender as necessidades das indústrias de do Pólo de Cubatão.

5.2 DRAGAGEM DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS

A remoção, transporte e disposição final de sedimentos dragados são os componentes principais do processo denominado dragagem, e envolve a escavação dos sedimentos por método mecânico ou hidráulico, e seu transporte do local de dragagem até a área de disposição final. Todo esse processo

pode envolver a interação de vários equipamentos como dragas, barcaças ou dutovias – denominadas, nesse caso, lododutos – para transporte até o local de disposição final. Também são utilizados navios que acoplam equipamentos de dragagem e compartimento para armazenamento do material dragado, transportando o mesmo até o local de disposição final.

A disposição final pode ser no mar aberto, em sistemas estuarinos ou terra firme. A escolha das alternativas de equipamentos e dos locais de disposição final envolve uma grande variedade de fatores relacionados com o processo de dragagem, incluindo a aceitabilidade ambiental, viabilidade técnica e viabilidade econômica, devendo atender a esses três aspectos.

Deve haver ampla compatibilidade entre a dragagem do sedimento, seu transporte e disposição final, e a proteção que se quer oferecer aos ambientes que poderão sofrer os efeitos desses processos. Todas as etapas da dragagem oferecem riscos ambientais, cujo grau dependerá da sensibilidade do ambiente dragado e daquele que receberá o material, do tipo de sedimento, do sistema de transporte e do local e processo de disposição final.

A dragagem de sedimentos contaminados, em particular, requer cuidados especiais, pois as diversas etapas do processo implicam em perda de sedimentos, em menor ou maior quantidade, em função da tecnologia adotada. Esses volumes de sedimentos serão dispersos na coluna d'água, ficando sujeitos às marés, correntezas, ventos e turbulências provocadas pela passagem de embarcações, impactando os meios físico e biótico.

A principal etapa da dragagem é a escavação dos materiais do fundo de um ambiente aquático, por meios mecânicos ou hidráulicos. Essa etapa tem, por objetivo, abrir canais artificiais; permitir a manutenção das profundidades necessárias à navegação; possibilitar a instalação de dutovias e emissários, e remover sedimentos contaminados. Há cerca de 20 anos, encontra-se em contínuo processo de aperfeiçoamento um novo tipo de dragagem denominado *dragagem ambiental*, que remove as camadas de sedimentos contaminados minimizando a suspensão e dispersão de contaminantes.

De acordo com o processo de remoção dos sedimentos, as dragas podem ser classificadas em hidráulicas e mecânicas. Entre os equipamentos hidráulicos, estão as dragas *hopper*, *cutterheads*, *dustpans*, *sidecasters*, etc. Entre os equipamentos mecânicos incluem-se as do tipo *clam shell*, *dipper*, *ladder dragas* etc. Nos EUA, as dragas hidráulicas respondem por aproximadamente 95% das atividades de dragagem, operando principalmente com sedimentos não contaminados.

Os equipamentos hidráulicos removem os sedimentos na forma pastosa com grande quantidade de água, geralmente numa proporção água – sólido de 4:1. Já as dragas mecânicas removem o sedimento numa forma menos aquosa, conseguindo-se misturas com 25% de água por meio da exclusão do líquido intersticial.

A escolha do tipo de draga a ser utilizado depende de vários fatores, tais como as características físicas do material a ser dragado; quantidade; profundidade da dragagem; distância entre a área de dragagem e a de disposição final; características do ambiente a ser dragado e do que receberá o material dragado; níveis de contaminantes no material; métodos de disposição final; urgência dos trabalhos a ser realizados; tipos de equipamentos disponíveis e, finalmente, os custos envolvidos.

Se o processo de escavação tende a ressuspender os sedimentos contaminados e, com isso, provocar a dispersão dos mesmos e sua mobilização para locais afastados do sítio de dragagem, o mesmo pode acontecer com a disposição final, sendo essas duas etapas as mais sensíveis e de maior potencial de impacto ambiental.

Para que uma dragagem seja considerada como ambiental, a mesma deve atender às seguintes questões:

- Mínima dispersão de sedimentos contaminados, nas áreas adjacentes ao sítio de dragagem;
- Manejo e disposição final do material dragado, realizados de maneira ambientalmente segura, e sem riscos à saúde pública;
- Operação realizada no menor tempo possível, obtendo-se a máxima remoção de sedimentos contaminados e a mínima remoção de água e sedimentos não contaminados.

A dragagem do Canal de Piaçaguiera deverá remover cerca de 2.500.000 m³ de sedimentos, em parte contaminados com metais pesados e Hidrocarbonetos Policíclicos aromáticos (PAHs), e com elevada quantidade de água intersticial. Segundo a USACE, as características desses sedimentos e seus níveis de contaminação não diferem daqueles das áreas portuárias de outros países, em especial as que englobam grandes parques industriais. Nos EUA, é o caso de Boston, New Jersey e New Haven, e também em Rotterdam, nos canais holandeses, e outros portos da Europa e do Japão.

5.3 MÉTODOS DE DRAGAGEM

Os métodos de dragagem disponíveis, no panorama tecnológico atual, podem ser agrupados em quatro grandes famílias:

- Dragagem hidráulica
 - Sucção e recalque convencional
 - Sucção e recalque com dispositivo ambiental
- Dragagem mecânica
 - Com caçamba simples
 - Com caçamba estanque
- Dragagem hidromecânica ambiental
- Dragagem pneumática

Dentro dessas famílias, uma nova classificação pode ser adotada, com base no tipo de propulsão utilizado durante as fases de escavação e de transporte ou ambas, tendo-se então:

- Dragas autopropelidas
- Dragas não autopropelidas

A produtividade de cada método varia em função das características do local e do material a ser dragado, da coluna d'água e profundidade de dragagem, da distância do ponto de descarga, das condições de tempo e do mar e da intensidade do tráfego de navios.

No caso do Canal de Piaçagüera, a escolha dos métodos de dragagem levou em conta as peculiaridades do problema e as características dos sedimentos a ser dragados. Os critérios de fundo para julgamento dos impactos da operação de dragagem foram estabelecidos de acordo com a IADC – *International Association of Dredging Companies* e a USACE – *U.S. Army Corps of Engineers*.

Considerou-se o grande volume de material a ser dragado, de 2.500.000 m³, e as sucessivas dragagens de manutenção, admitindo-se que a deposição anual de sedimentos é da ordem de 400.000 m³; a natureza predominantemente silto-argilosa dos sedimentos, que lhes confere baixíssima consistência e características de lodo; o grau de contaminação por metais pesados e PAHs; e elevada quantidade de água intersticial.

Também foram levados em conta: a suspensão de sedimentos; mobilização de camadas de material; mistura das diversas camadas de solo dragado; segurança do pessoal de dragagem e proximidades; acuidade do perfil escavado; grau de diluição (relação água/sedimento no material dragado), e produtividade.

Com a crescente preocupação no tocante às questões ambientais, novas tecnologias foram adicionadas aos processos tradicionais de dragagem. Além de possibilitar a realização das dragagens com acuidade, produtividade e segurança, essas tecnologias minimizam os impactos negativos sobre o meio ambiente, desde a etapa de remoção até a disposição final do material dragado.

5.3.1 Dragagem Hidráulica

Este tipo de dragagem utiliza bombas centrífugas para produzir força para escavar (com ou sem cortadores mecânicos) e para o transporte hidráulico, por meio de tubulação, até a superfície, e daí até o ponto de disposição final ou as barcaças que farão o transporte.

Os dois tipos primários de dragas hidráulicas são:

- *Pipeline dredges* (hidromecânica)
- *Self propelled hopper dredges* (sucção e recalque)

a) Pipeline dredges

Dentre as vantagens das *cutterhead pipeline dredges* estão a habilidade de escavar a maioria dos materiais, bombear diretamente para o ponto de descarga, dragar continuamente e retirar alguns tipos de rochas sem explosão. Apresenta, contudo, limitada capacidade de trabalho em más condições de tempo e tem dificuldades em trabalhar com areia em locais com velocidades mais rápidas de correntes. Além disso, a presença de debris no sedimento reduz em muito a eficiência de

remoção. A maioria das *cutterhead pipeline dredges* não é autopropelida. A tubulação que exigem pode se tornar um sério fator de obstrução à navegação local.

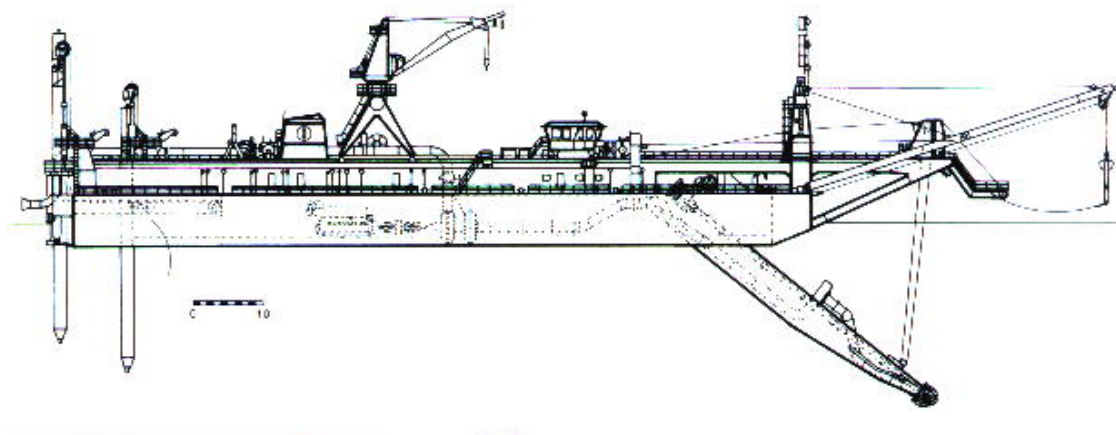


Figura 5.1. Pipeline dredge

b) Self propelled hopper dredges

Podem operar em condições de mar batido, com a vantagem de se moverem prontamente ao local de trabalho por seus próprios meios. A sua operação não interfere com o tráfego marítimo e o trabalho progride rapidamente. São especialmente vantajosas quando o projeto envolver o transporte do dragado a longas distâncias. Apresentam limitações para trabalho em águas profundas e sua precisão da escavação é menor do que outras técnicas. Materiais muito consolidados podem ser problemas para este tipo de dragagem.

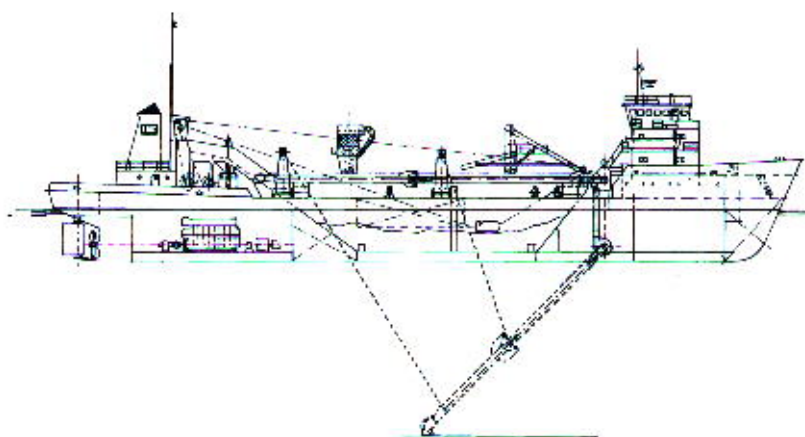


Figura 5.2. Self propelled hopper dredge

A dragagem hidráulica é a tecnologia mais conhecida e empregada no Brasil, tendo sido utilizada em todas as dragagens anteriormente realizadas no Canal de Piaçaguera. Existe, no mercado brasileiro de dragagem, uma série de navios e barcas, das mais diversas dimensões e capacidades, aptos para realizar o trabalho.

As maiores embarcações disponíveis têm cisternas de até 5.600m³, atingindo profundidades de sucção de até 32 m. As maiores embarcações têm velocidade média de deslocamento de 12 a 13 nós, enquanto as menores em torno de 9 nós. O processo de descarga do sedimento pode ser por abertura do casco, abertura de válvulas abaixo da quilha ou descarga do material no leito do mar através do próprio tubo de sucção.

A dragagem hidráulica envolve um tempo de mobilização para o início de operação bastante curto. Apresenta alta capacidade e rendimento operacional, porém requer infra-estrutura elevada.

Durante a dragagem, elevado volume de água acompanha os sedimentos, em proporções que variam em torno de 4 partes de água por parte de sólidos. Esse elevado volume exige despejo a partir das cisternas, realizado acima da linha-d'água da embarcação. É o denominado *overflow*, que provoca elevada turbulência na área de dragagem. No caso de sucção de sedimentos contaminados, o *overflow* das embarcações deve ser evitado. Além disso, a operação de sucção gera uma turbulência acentuada na área de dragagem, o que provoca a suspensão de sólidos muito finos e de difícil decantação. O potencial de mitigação destes impactos é baixo.

c) Self Propelled hopper dredgers com dispositivo ambiental

Alguns equipamentos e procedimentos foram desenvolvidos e são aplicados no sentido de reduzir os efeitos da dispersão de sólidos. Um destes equipamentos, criado pelos japoneses, é denominado *clean up system*, e é constituído por um tipo de vedação mecânica da ponta do tubo de sucção, com o objetivo de reduzir a dispersão de sedimentos e, conseqüentemente, a turbidez. Outro equipamento utilizado neste tipo de dragagem é o *green tube*, um sistema que permite a recirculação de parte da água succionada na dragagem. Este equipamento possibilita a redução da vazão captada e uma maior concentração dos sólidos recalçados para a cisterna.

Algumas dragas autotransportadoras mais modernas possuem a cisterna compartimentada com chicanas, para aumentar a capacidade de adensamento do sedimento. A redução do volume de líquido livre na cisterna, propiciada por estes dispositivos, oferece a possibilidade de minimização ou mesmo o não descarte do excesso de água ou *overflow*.

Existem, no mercado internacional, várias dragas autotransportadoras adaptadas com estes dispositivos ambientais, e algumas projetadas e produzidas com esses equipamentos já incorporados. Suas principais características são:

- Adequação para trabalhar com sedimentos contaminados
- Alta capacidade e rendimento operacional
- Sucção de volume de água acompanhando os sedimentos em proporções menores que a draga de sucção e recalque convencional, o que permite que seja evitado o *overflow* que provoca elevada turbulência na área de dragagem
- Operação de sucção não gera uma turbulência acentuada na área de dragagem, o que provoca a redução da suspensão das partículas contaminadas

- Requer infra-estrutura elevada
- Disponibilidade no mercado internacional, requerendo um tempo de mobilização de, no mínimo, 90 dias para o início da operação
- Custos operacionais mais elevados, quando comparado com as dragas de sucção e recalque convencionais

5.3.2 Dragagem Mecânica

Vários tipos de dragas mecânicas são utilizados, como as *dipper dredges*, *backhoe* e *clam-shell dredges*, consideradas mais comuns. Dragas mecânicas são robustas e capazes de remover materiais compactados e debrís, e têm a vantagem de poder operar em áreas apertadas, garantindo a eficiência do sistema de dragagem se grandes barcaças são utilizadas para o transporte do removido a longas distâncias. Em contrapartida, apresentam dificuldades em reter material fino nas caçambas, não dragam continuamente e necessitam controles adicionais quando trabalham com sedimentos contaminados.

A tecnologia mais empregada para a dragagem de sedimentos poluídos é a que utiliza caçambas estanques (*watertight clam-shells*), mostrando-se como uma tecnologia eficiente, e tendo sido utilizada nas maiores e mais importantes dragagens de sedimentos contaminados nos EUA.

A estanqueidade da caçamba, revestida em sua parte interna com teflon (para impedir a aderência de material) e nas extremidades das conchas com borracha (para impedir a perda de material dragado), se operada de modo controlado, tende a provocar os mesmos níveis de suspensão de sedimentos observados na dragagem pneumática (~150 mg/l). O fechamento das mandíbulas é hidráulico e muito seguro, contudo, sua operação é restrita a profundidades máximas entre de 15 m a 16 m.

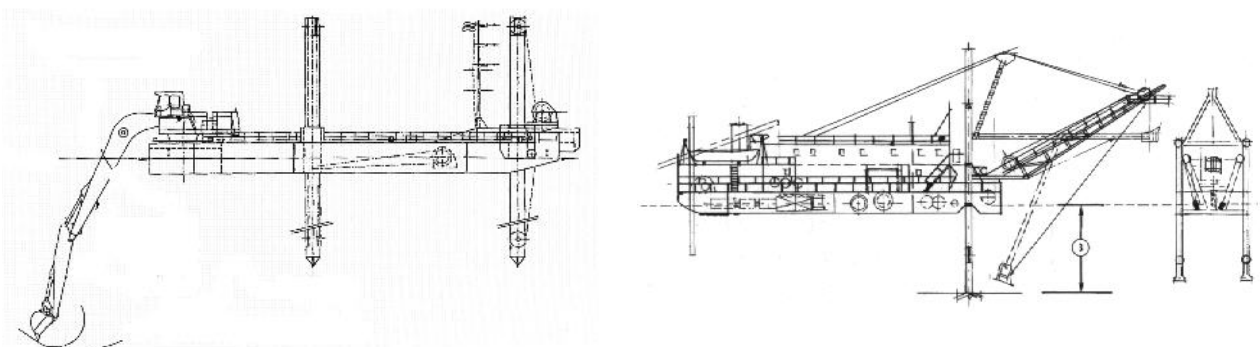


Figura 5.3. Dragas mecânicas tipo *backhoe* e *dipper*

Segundo a CF BEAMS, uma caçamba de 5 m³ tende a oferecer um rendimento de 3.000 m³ diários. Geralmente, o manuseio da caçamba é executado através de um braço mecânico -hidráulico

disposto sobre um pontão flutuante, e o lodo retirado da área de dragagem é transferido para um navio ou barça-cisterna, que transfere os sedimentos para as áreas de bota-fora.

A caçamba mecânica (*clam-shell*), apresenta as mesmas características de funcionamento da caçamba estanque e os mesmos requisitos e desempenho. A grande diferença está na sua não estanqueidade e nos impactos que causa por não reter adequadamente o material que remove. Em função desta desvantagem, foi substituída pela maioria das empresas que opera com preocupação ambiental.

As principais vantagens e desvantagens do sistema mecânico com caçambas estanques são:

- Obtenção de lama com elevada percentagem de sólidos. O fabricante do equipamento orienta no sentido de se adotar a média de uma parte de água para quatro partes de sedimento ou mais na mistura.
- Baixa turbidez, provocada pela suspensão de sedimentos. Como o equipamento está montado sobre uma barça sem propulsão própria, que se movimenta à velocidade de até 3m por minuto através da operação de guinchos, não ocorre a turbulência natural provocada por propulsores marítimos. A concentração de sólidos em suspensão, provocada pela sua operação, é considerada pequena, entre 100 e 150 mg/l. O potencial de risco de acidentes é baixo.
- Sistema operacional complexo, porém de simples manuseio com um mínimo de peças móveis.
- Apresenta baixo rendimento de produção, sendo indicada apenas para pequenas áreas e volumes de sedimento a ser removidos.
- Requer grande infra-estrutura, tal como pontão de 25 m x 12 m com pórtico, guincho, motores e tubulação, e calha para descarga em barça. O tempo de mobilização para iniciar a operação é alto, porque os equipamentos têm que ser fabricados ou adaptados aos existentes no mercado.

5.3.3 Dragagem Hidromecânica - Environmental Disc Cutter

O equipamento projetado pela Boskalis Dolman é apropriado para operações de remoção de sedimentos contaminados, razoavelmente solidificados, com o disco trabalhando em ambiente confinado e controlado por visores. O sistema permite a remoção de misturas com elevados teores de sólidos e garante baixa turbidez na área de dragagem.



Figura 5.4. Environmental disc cutter

É posicionado por GPS e permite eficiente controle nas operações de remoção. A presença de debris no material a ser dragado, de lixo e sacos plásticos pode bloquear as aberturas de sucção no disco. O equipamento foi utilizado na Holanda e na Alemanha nos projetos de Müggelsee, Rijn Canal e projeto piloto de Ketelmeer. O sistema não tem condições de transportar o material dragado até as áreas de bota-fora, a menos que esteja localizado em sítios que permitam transferência por recalque

5.3.4 Dragagem Pneumática

Os sistemas de dragagem pneumática em operação foram desenvolvidos pelos italianos e japoneses. O sistema italiano denomina-se *Pneuma* e o japonês, *Oozzer*. O equipamento da dragagem pneumática é constituído por três câmaras onde, intermitentemente e seqüencialmente, é expirado ar e inserido ar comprimido.

Na aspiração, a câmara em ação sofre um abaixamento acentuado de pressão (de até 30 mm de Hg), enquanto a câmara seguinte está sendo pressurizada. Uma válvula controla o fluxo de entrada do material dragado para a câmara de baixa pressão.

O maior equipamento disponível no mercado tem capacidade de 1.500 m³ por hora. O sistema foi desenvolvido para a dragagem de sedimentos poluídos a médias e altas profundidades, podendo efetuar a sucção até 200 m. A principal vantagem desse equipamento é a remoção de sedimentos com elevada percentagem de sólidos na mistura.

Um equipamento deste tipo, com capacidade de 300 m³ por hora, foi utilizado com grande sucesso na dragagem do Porto de Osaka, no Japão. Segundo os relatórios de dragagem, os sedimentos se apresentavam contaminados com metais pesados e produtos químicos, sendo que mais de 70% do lodo era constituído de argila e 20% de areia. A operação de dragagem foi amplamente planejada e monitorada, sendo que os relatórios apontam teores de sólidos da mistura dragada entre 65% e 92%, e reduzidos níveis de turbidez.

Ao contrário da sucção e recalque, nesta tecnologia o lodo deve ser transferido para uma embarcação cisterna disposta a contrabordo do pontão que opera o sistema pneumático. Para o manuseio de câmaras com capacidade de 1.500 m³ por hora, é necessário um pontão tipo barça de 28 m de comprimento, 12 m de boca e pontal de 2,5 m.

O manuseio das maiores câmaras é executado por um pórtico fixado sobre o convés do pontão, acompanhado de cabina de controle, válvulas e reguladores de ar, compressores, guinchos de posicionamento e acionamento das câmaras, pontão e mangueiras de sucção e recalque. O sistema admite recalque até uma distância da ordem de 1.500 m, sem a utilização de *boosters*.

As principais vantagens e desvantagens do sistema pneumático são:

- Requer infra-estrutura elevada, como pontão de 25 m x 12 m com pórtico, guincho, câmara de vácuo, motores e tubulação.
- O tempo de mobilização para iniciar a operação é elevado, em torno de 8 meses, porque os equipamentos devem ser importados.
- Sistema de simples manuseio complexo e custo operacional alto.
- Obtenção de lama com elevada percentagem de sólidos. O fabricante do equipamento orienta para considerar a média de uma parte de água para quatro partes de sedimento ou mais na mistura.
- Baixa turbidez provocada pela suspensão de sedimentos. A concentração de sólidos em suspensão, provocada pela sua operação, é considerada pequena, entre 100 e 150 mg/l.
- O potencial de risco de acidentes é alto, devido a sua operação em pressões extremas, sendo seu potencial de impacto ambiental considerado médio a alto.
- Segundo especialistas em dragagem, o sistema pneumático opera bastante bem para volumes menores de dragados a elevadas profundidades. É um aparelho bastante adequado para sedimentos altamente contaminados e em áreas localizadas.
- O equipamento é fabricado no exterior e deve ser importado.

5.4 TRANSPORTE DOS SEDIMENTOS DRAGADOS

O transporte dos sedimentos – no conjunto de etapas que constitui todo o processo de dragagem – em termos de custo é o fator mais importante. Áreas de destinação final mais afastadas implicam em elevados tempos de trânsito ou menores volumes transportados por unidade de tempo. No caso de sedimentos poluídos, o transporte do lodo se encontra, significativamente, vinculado à localização e à técnica de deposição ou lançamento do material.

Os sedimentos a serem dragados no Canal de Piaçagüera podem ser mobilizados por três formas distintas de transporte, utilizadas individual ou conjuntamente:

- Transporte hidráulico
- Transporte terrestre rodoviário e ferroviário
- Transporte marítimo por meio de navio-draga e barcaça puxada ou empurrada

5.4.1 Transporte Hidráulico

No sistema tradicional de dragagem, tipo sucção e recalque, o lodo dragado é transportado pela própria draga ou por um sistema hidráulico. Para sítios de disposição final localizados próximo à área de transbordo, o transporte poderá ser realizado por condutos forçados, utilizando-se estações de bombeamento, para distâncias até cerca de 500 m, e de rebombeamento para distâncias maiores.

As principais vantagens e desvantagens do sistema hidráulico de transporte de sedimentos são:

- A infra-estrutura necessária é pequena, basicamente representada por tubulações, bombas e estações de rebombeamento. Como este tipo de transporte é tradicionalmente utilizado no Brasil, o tempo de mobilização dos equipamentos é rápido, como investimento e custo operacional baixos.
- Apresenta capacidade de transporte para grandes vazões.
- O limite para transporte por tubulação situa-se ao redor dos 5.000 m, sendo que, além dessa distância, haverá necessidade de outro tipo de transporte, com necessidade de novos investimentos como estações de transbordo.
- Os impactos ambientais envolvidos são considerados pequenos e estão relacionados à manutenção das bombas e tubulações.

5.4.2 Transporte Terrestre Rodoviário ou Ferroviário

Na hipótese de destinação dos sedimentos dragados em terra, para distâncias superiores a 5.000 m haverá necessidade de manejo, envolvendo transporte combinado, inicialmente por sistema hidráulico ou marítimo com transbordo, condicionamento e, posteriormente, transporte terrestre por caminhões ou trens.

Não havendo deságüe prévio do lodo – operação que exigiria uma planta própria, com tratamento do efluente gerado e licenciamento ambiental – este seria transportado na sua condição de dragado, na forma de uma pasta “mole”.

Na ausência de possíveis sítios na Baixada Santista, os veículos carregados com esse material deveriam subir a serra e encontrar locais, em outros municípios, que estivessem aptos e liberados para aceitar o material dragado. Ocorre que não se dispõe de nenhum ponto, a menos de 150 km, que reúna condições mínimas para o início de um estudo de viabilidade para essa operação.

Para uma melhor percepção a respeito do transporte terrestre, a tabela seguinte oferece valores para o que seria o transporte de 1 milhão de toneladas. Para os cálculos, foi considerada a utilização de composições ferroviárias de 2.500 toneladas e de caminhões de 25 toneladas. O período de transporte foi definido para 300 dias.

Tabela 5.1. Parâmetros para o transporte de 1.000.000 t de sedimentos

Parâmetro	Unidade	Rodovia	Ferrovia
Velocidade	km/h	50	50
Distância	km	200	200
Carga/descarga	h	1	2
Viagens/veic/24h	nº de viagens	2	1,5
Total/veículo/dia	ton	50	3.750
Total/veículo/ano	ton	15.000	1.125.000
Frota (20% folga)	veículos	150	2 (1+1)
Frete	US\$1000/ton/km	40	16
Custo C/D	US\$/ton	0,5	0,5
Custo/dia	US\$	63.750	22.750
Custo Total	US\$	19,125 milhões	6,825 milhões
Custo/m3	US\$	19,2	6,8

O transporte terrestre implica, ainda, na construção de terminais de embarque e desembarque, e silos de carregamento para compatibilizar os tempos, volumes e tamanho de frota. A água aliviada durante o manuseio do material deverá ser coletada, tratada e disposta, o que representaria estações de tratamento e corpos receptores compatíveis.

5.4.3 Transporte Marítimo por Meio de Navio-Draga e Barcaça Puxada ou Empurrada

Os navios cisternas ou *self propelled hopper dredgers*, normalmente são embarcações de grande porte providas de toda a infra-estrutura necessária para permitir uma navegação segura. No caso de distâncias de transporte menores e com destino final para áreas escolhidas mais abrigadas, é possível utilizar, para o transporte do lodo, barcaças empurradas, tracionadas ou autopropelidas.

5.5 ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS DRAGADOS

Para a destinação dos 2.500.000 m³ de sedimentos com e sem contaminação, foram pesquisadas 16 alternativas tecnológicas e locacionais, as quais, segundo as tecnologias e conceitos envolvidos, podem ser distribuídas em seis grupos de disposição, processo e tratamento:

- Quadrilátero de disposição de material dragado, no Oceano
- Disposição em cavas
- Disposição em áreas confinadas por diques
- Disposições especiais

- Processos industriais
- Tratamentos

As alternativas pesquisadas estão descritas dentro de um mesmo contexto, quanto aos fatores ambientais, operacionais e econômicos que puderam ser obtidos, de forma a mostrar as suas vantagens, desvantagens, limitações e viabilidade de utilização.

5.5.1 Quadrilátero de Disposição de Material Dragado

A disposição de materiais dragados em mar aberto ou em embaiamentos é a tecnologia que tem sido praticada no país até hoje. Tem a grande vantagem de ser extremamente prática e a tecnologia para a sua realização estar disponível, existindo no mercado brasileiro de dragagem uma série de navios e barcas, das mais diversas dimensões e capacidades, aptos para realizar o trabalho. As maiores embarcações têm cisternas de até 5.600 m³.

A descarga e dispersão do sedimento no mar são realizadas através da abertura de comportas ou de válvulas dispostas na quilha da embarcação. Os navios-cisterna geralmente efetuam o despejo do material em curso normal ou em marcha reduzida. Essa técnica não é, porém, apropriada para destinação final de sedimentos poluídos, pois apenas transfere os contaminantes de um local a outro, além de haver violação da qualidade da água do corpo receptor, de seus sedimentos, riscos de toxicidade, bioacumulação, efeitos negativos sobre a biodiversidade e outros.

O processo que se empregava até o presente na Baixada Santista, apenas dispersava os contaminantes dos sedimentos dragados. Muitas vezes, inclusive, as barcas não respeitavam a demarcação do quadrilátero onde o lançamento é permitido. Uma importante exceção foi a construção do Dique do Furadinho pela COSIPA, onde foram colocados sedimentos dragados.

É importante assinalar que a COSIPA assumiu a postura de evitar o lançamento de sedimentos contaminados no mar, como tem sido feito na Baixada Santista, sendo perfeitamente aceitável o lançamento de sedimentos não contaminados, desde que lançados no quadrilátero de disposição em área oceânica, licenciado para esse fim, com os estudos prévios e monitoramento adequado, durante e após a disposição final.

Nestas condições, é a alternativa que causa menor impacto sobre o meio ambiente físico e biótico.

5.5.2 Disposição em Cavas Subaquáticas

Anualmente, no mundo, são dragados cerca de 250 milhões de metros cúbicos de sedimentos dos estuários, portos, bacias de evolução e hidrovias interiores. Desse total, cerca de 20%, ou seja, 60 milhões de metros cúbicos são constituídos por sedimentos contaminados.

Particularmente nos EUA, as áreas de destino final dos materiais dragados se encontram regulamentadas pelo *Marine Protection, Research and Sanctuaries Act*. O *Clean Water Act* (33 U.S.C., section 1251 *et seq.*), no seu item 404, designa o *U.S. Army Corps of Engineers* – USACE como seu

representante federal para questões relacionadas às dragagens e disposição final dos sedimentos contaminados.

A tecnologia de capeamento subaquático de material contaminado, em água aberta, começou a ser praticada pelo USACE no final da década de 70, e consistia na deposição dos sedimentos contaminados no fundo do mar, normalmente em locais de pequena declividade, com depressões naturais ou quase planos. Posteriormente, após sedimentação do material, recebia uma cobertura ou camada de areia. A maior dificuldade consistia na necessidade de se encontrar grandes áreas disponíveis à realização dessa alternativa, pois o material silteoso tende, naturalmente, a se espalhar. O problema foi resolvido com a deposição do material em células escavadas no fundo das áreas disponíveis.

A primeira cobertura de cava planejada pelo USACE foi aplicada em New Haven, numa área de duas milhas quadradas na zona costeira, em profundidades de 15 m a 24 m, e um dos mais importantes projetos de dragagem e disposição final em cavas, também realizado pelo USACE, foi no porto de Newark/Elizabeth, que faz parte do complexo portuário de New York/New Jersey, em 1993.

A segurança dessa alternativa de disposição final de sedimentos contaminados foi comprovada com a passagem de dois furacões sobre as áreas de deposição, quando não se constatou nenhuma alteração nas cavas e na cobertura. Essa tecnologia tem sido praticada em vários países da Europa como na Holanda, em Hong Kong e, atualmente, no porto de Boston (Mass. EUA).

A deposição do material em cavas, a partir de cisternas de barcaças, deve obedecer a rígidos procedimentos, uma vez que a dispersão dos sedimentos é inversamente proporcional ao tempo de despejo e à profundidade real do mesmo, e diretamente proporcional ao choque do lodo com a base da fossa. Uma das grandes vantagens desta alternativa é a melhor contenção da dispersão dos sedimentos, especialmente após a deposição final, uma vez que o capeamento funciona como uma selagem definitiva do material no interior das cavas.

A disposição em cavas abertas no sistema estuarino da Baixada Santista pode se processar por dutovias ou por lançamento através de dragas *hopper* ou de barcaças que recebam e transportem o material dragado. O potencial de impacto ambiental dessa alternativa de disposição final é afetado pelo comportamento físico da descarga, o qual, por sua vez, depende do tipo de dragagem e do processo de disposição empregado, mas depende, também, das características físicas do material dragado e da hidrodinâmica do local de disposição.

O material de granulometria maior decanta rapidamente, mas o mais fino provavelmente se dispersará levado pelas correntes marinhas. Quanto mais demorar a descarga do material dragado, mais provável será a dispersão do material lançado. Uma das características da draga *hopper* é que a mesma lança todo o material dragado que transporta em apenas alguns minutos, minimizando aquele risco. Realmente, o ideal é que se evite a dispersão do material dragado, especialmente quando contaminado.

Por outro lado, as comportas da draga *hopper* darão uma vazão da ordem de 70 m³/s, que se chocará contra o fundo e formará uma corrente ascendente de sedimentos a qual poderá, inclusive,

sair da cava e se dispersar pelo canal. Por essa razão, é importante que a disposição dos sedimentos se processe de forma a garantir que o material vá, efetivamente, para o interior da cava, sem dispersar durante sua deposição e nem após o choque com o fundo da cava, pois a dispersão poderia provocar sua disseminação pelo canal.

A determinação dos locais onde serão construídas as cavas e realizada a disposição final do material dragado, deve ser precedida por um conjunto de estudos que envolvem as correntes, batimetria, potencial de mudanças no padrão de circulação, processos de erosão do fundo, características sedimentológicas, taxas de deposição e erosão, padrões de salinidade e de temperatura, turbidez da água, caracterização química e biológica do local de disposição final, histórico das disposições na área, disponibilidade de equipamentos para dragagem e disposição final, habilidade em monitorar o local de disposição, capacidade técnica para implementar opções de gestão, habilidade em controlar a colocação do material, a capacidade volumétrica da área de disposição final, usos da área de disposição e conflitos dos mesmos com a disposição final (atividades esportivas, de pesca, etc.), estabelecimento do programa de monitoramento, aceitabilidade pública e efeitos cumulativos potenciais.

A disposição do material dragado em cavas não poderá induzir violações dos padrões de qualidade do corpo hídrico receptor, nem os critérios de toxicidade do mesmo. Assim, se aqueles critérios puderem ser violados, poder-se-ia substituir o uso de draga *hopper* para dragagem e descarga por uma dragagem com *clam-shell* e descarga por meio de barcaça. A descarga de material dragado por barcaça pode resultar, segundo a EPA, numa menor dispersão do material dragado, quando comparado com aquela realizada pela *hopper*.

É comum a realização de modelagem matemática para se avaliar o comportamento do sedimento ressuspensão pelas dragagens, e daquele lançado nas cavas. A análise desses comportamentos permite, por exemplo, a tomada das devidas precauções para se evitar que sedimentos ressuspensos ou lançados ao mar atinjam e se acumulem nos manguezais da Baixada Santista ou, então, sejam levados pelas correntes para áreas ecologicamente sensíveis.

Outros meios de se reduzir a dispersão do material dragado lançado são a descarga submarina com uso de difusores (*green tube*), que permite, não apenas uma menor dispersão, mas também a colocação melhor e mais correta do material dragado num determinado local, e o uso de cortinas verticais, compostas por mantas impermeabilizantes de baixa espessura, que envolveriam a barcaça e teriam a borda inferior disposta no interior da cava. Com tais medidas, os impactos sobre as áreas adjacentes e/ou a jusante poderão ser reduzidos.

A contenção lateral (*lateral containment*) é uma medida de controle da disposição final do material dragado que permite reduzir os impactos. Para isso, usa-se uma depressão no fundo do corpo hídrico, uma área escavada previamente no mesmo ou, ainda, a construção de diques subaquáticos que permitem conter e armazenar o material lançado, reduzindo a área que será afetada pela descarga do material dragado. Para a utilização dessa solução, há necessidade de se avaliar o tipo de draga utilizado, a profundidade, topografia do fundo, tipo de sedimento, e a capacidade do local ou dique que irá receber o material dragado.

A contaminação, tanto de sedimentos como do solo, está normalmente associada ou ligada às partículas finas de silte e argila na matriz dos mesmos. Por isso, quanto mais finos forem os sedimentos a ser dragados, maior será o potencial da presença de altas concentrações de contaminantes nos mesmos.

A disposição aquática contida de sedimentos contaminados consiste na disposição dos mesmos num local adequado e sua cobertura por material não contaminado que funcionará, então, como um selo ou tampão.

A figura seguinte mostra os vários tipos de disposição em cavas, diques em terra, e aterro industrial, ente outras.

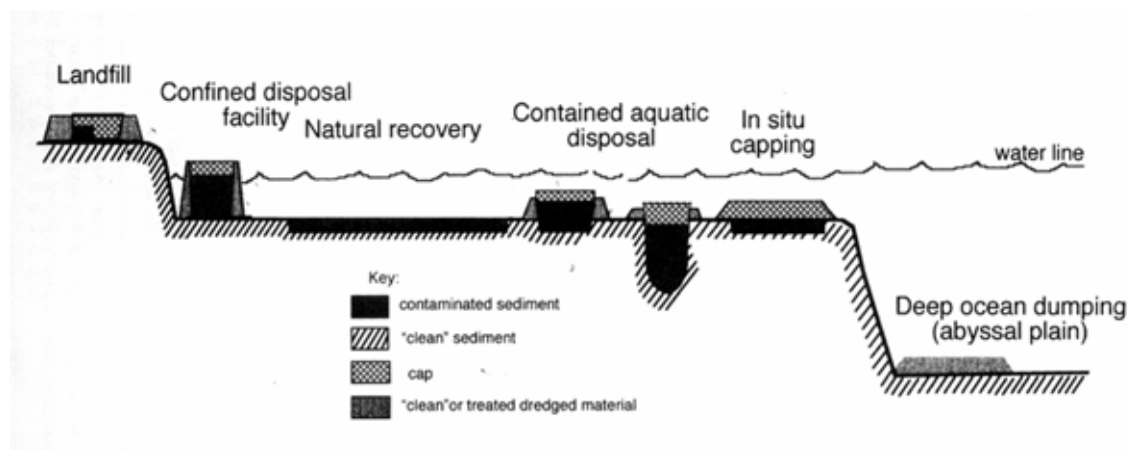


Figura 5.5. Tipos de disposição em cavas

Os dois objetivos principais a se alcançar, no planejamento e operação de cavas, para conter sedimentos contaminados, é que eles apresentem uma adequada capacidade de armazenamento, satisfazendo a necessidade de disposição dos volumes dragados, bem como que se maximize sua capacidade de impedir liberações de sedimentos contaminados depositados nos mesmos. A possibilidade de saída de contaminantes se deve à descarga do efluente da embarcação durante a operação de enchimento e no subsequente assentamento e perda de água daqueles sedimentos na cava. Daí a necessidade de haver um efetivo programa de monitoramento de toda a operação e do comportamento do material disposto.

Extensivo monitoramento de cobertura das cavas em New England, EUA, através do programa DAMOS, mostra que a mesma é uma medida bastante viável de mitigação para a disposição de sedimentos contaminados em ambientes marinhos, mas é necessário um programa de monitoramento permanente para se assegurar que não ocorram impactos indesejáveis no futuro. Estudos mostraram que a cobertura tem resistido até a ambientes de alta energia e a furacões, mas apesar disso, o monitoramento deve ser implementado e ser permanente.

Segundo pesquisas desenvolvidas em países onde essas tecnologias têm sido utilizadas, após cinco a seis meses se observa a recuperação biológica das áreas das cavas. Estudos realizados em cavas

recobertas mostraram que a bioturbação na Baía Bellingham, Washington (EUA), não ocorreu além de 15 cm de profundidade, e o mesmo demonstrou sucesso na remediação dos sedimentos, reuso benéfico do material dragado e proteção dos recursos naturais. No caso de sedimentos contaminados por mercúrio naquela área, a cobertura formou uma barreira efetiva, de longo termo, entre os sedimentos contaminados e o ambiente.

Deve-se lembrar, em favor do uso dessas alternativas para disposição dos sedimentos contaminados do Canal de Piaçagüera, que toda a área do Estuário Santista é e será sempre uma área de fortes impactos ambientais sobre a biota, em virtude da necessidade periódica de dragagens, efeitos da intensa navegação e lançamentos de efluentes das indústrias de Cubatão, áreas urbanas e portuárias. Isso ficou bem evidente em estudos realizados pelo IOUSP, que observou a existência de mais de 100 espécies de peixes no canal dos Barreiros mas um número muito menor dos mesmos no estuário.

5.5.2.1 Cavas Submersas Sob o Canal de Navegação

Essa alternativa compreende a disposição dos materiais dragados e contaminados em cavas submersas a serem escavadas por meio de dragagem, sob o Canal de Piaçagüera, e posteriormente recobertas, para o isolamento superficial do material contaminado lançado.

Estudos existentes, adotando como critério de projeto fatores de segurança mínimos de 1,25, forneceram como geometrias das escavações, taludes com inclinação em relação ao plano horizontal, entre 12,5° ou 1(v):4,5(h) e 16° ou 1(v):3,5(h). Esses estudos consideraram, como seção geotécnica de cálculo, taludes inteiramente escavados em argila marinha mole e, abaixo do fundo da escavação, a existência de 2 m de argila mole, situada acima da camada de areia mais resistente.

Em vista dos critérios e estudos mencionados acima, e considerando a necessidade de se respeitar a distância de 60 m da linha de jurisdição do porto organizado, é possível a disposição de cerca de 925.000 m³ de material empolado¹, o que corresponde a cerca de 615.000 m³ de sedimentos *in situ* que poderão ser dispostos nas cavas a ser construídas sob o canal de acesso.

Por se situar no Canal de Piaçagüera, essa alternativa poderá provocar impactos, nas etapas de escavação e disposição, sobre o corpo d'água, pela dispersão de sedimentos, atingindo, inclusive, a fauna aquática. Também merece destaque sua interferência sobre a navegação nas etapas de escavação e disposição.

5.5.2.2 Cava Confinada no Largo do Cubatão

Essa alternativa compreende a construção de uma cava no Largo do Cubatão, cercada por um dique de isolamento, com cerca de 3,5 m de altura – aflorando acima do nível máximo da água – para evitar a influência de correntes de marés no seu interior, garantindo assim o confinamento do material disposto.

¹ Estima-se que o empolamento (aumento do volume do material após dragagem) seja de 50%.

A cava terá aproximadamente 15 m de profundidade, sendo a localização da mesma, função da baixa profundidade da região e pequena influência das correntes de marés. Deverá ser mantida uma distância superior a 30 m dos manguezais.

A cava poderá abrigar até 937.000 m³ de material proveniente da dragagem, não considerando o seu empolamento. A construção da cava será por draga de sucção e recalque e, concomitantemente à dragagem, será construído o dique de isolamento.

O enchimento da cava será por meio de sucção das áreas a serem dragadas e recalque para dentro da cava. A água proveniente deste processo será retirada de dentro da cava por meio de um vertedor tipo tulipa, isolado por uma cortina de geotêxtil, para impedir a saída de material sólido (que contém a maior parte dos contaminantes). A tubulação do vertedor será submersa e o lançamento será encaminhado para a parte profunda do canal de acesso, onde estará sendo realizada a dragagem. A operação de descarga deverá ser extremamente controlada, com o objetivo de minimizar o turbilhonamento.

Após a disposição do sedimento dragado na cava, será observado um prazo para que ocorra o adensamento do material, e então será aplicada a cobertura, utilizando-se o próprio material do dique de isolamento, recompondo assim a configuração original da área.

Os impactos de ordem geotécnica, tais como recalques e rupturas de solos moles na fundação do dique, ocorrerão durante as fases de construção do mesmo. Por se localizar na foz do rio Cubatão, poderá haver alguma influência sobre a sua hidrodinâmica. Também haverá impacto sobre a avifauna, pela existência de bancos de areia utilizados por aves migratórias, e sobre a pesca.

5.5.2.3 Cava Confinada no Largo do Casqueiro

Essa alternativa é semelhante à alternativa anterior e compreende a construção de uma cava junto à foz do rio Casqueiro, com capacidade para receber 1.400.000 m³ de sedimentos. A cava também será cercada por um dique de isolamento para evitar a influência das oscilações das marés no seu interior garantindo, assim, o confinamento do material disposto.

Os demais aspectos e cuidados construtivos serão idênticos aos tomados na cava confinada no Largo do Cubatão. Da mesma forma, se observarão impactos sobre o meio ambiente sendo, no entanto, um pouco menos significativos os impactos previstos sobre o meio biótico.

5.5.2.4 Cava Confinada no Largo do Canéu

Semelhante às anteriores, essa alternativa prevê a construção de uma cava no Largo do Canéu, nas proximidades da seção 185 do canal de acesso, com a mesma capacidade que a cava do Largo do Casqueiro.

Essa cava também será cercada por um dique com as mesmas características do dique da cava confinada no Largo do Cubatão, para evitar a influência de correntes de marés no seu interior, garantindo-se, assim, o isolamento do material disposto. Os demais aspectos e cuidados construtivos serão idênticos aos tomados nas demais cavas confinadas por diques.

Recalques e rupturas de solos moles na fundação do dique também ocorrerão durante as fases de construção do mesmo. Nessa alternativa, merece destaque o impacto a ser causado sobre a avifauna, pela utilização da área por aves migratórias.

5.5.3 Áreas Confinadas por Diques

Essa tecnologia é internacionalmente conhecida como *confined disposal facilities* – CDF, ficando o material dragado confinado no interior de estruturas fechadas, formando uma verdadeira ilha murada no ambiente de disposição final. Podem ser construídas contiguamente ao ambiente costeiro, em falésias, costão rochoso, praias etc (ver Figura 5.5).

Na literatura especializada, a disposição é confinada em terra ou na região entre marés, e nunca no ambiente subaquático. Essa disposição tem sido referenciada como *confined disposal facility*, *confined disposal area*, *confined disposal site*, *diked disposal site* e *containment área*, sendo mais correto o termo *confined disposal facilities* (CDFs). A diferença dos CDFs para as cavas confinadas anteriormente descritas é que após o enchimento a área fica emersa, não se recompondo o ambiente original. A disposição subaquática é denominada de disposição confinada aquática (*contained aquatic disposal* - CAD).

As técnicas de confinamento em diques de material dragado diferem em função da hidrogeologia, química de sedimentos, remoção da água contida no material dragado, taxa de liberação de contaminantes, etc. Podem ser realizados em terra firme, ou num corpo de água, pois a falta de espaços disponíveis, em geral inviabiliza a alternativa da construção de diques de contenção em terra.

A escolha do local para a CDF pode ser mais complexa do que a disposição em mar aberto, mais convencional, sendo necessário considerar vários fatores na escolha, entre os quais a disponibilidade de área e capacidade volumétrica de armazenamento do material dragado; configuração e acesso ao local de disposição; proximidade de ambientes ecologicamente sensíveis; topografia para avaliar mudanças na mesma e padrões de deflúvio terrestre, e meteorologia e clima. Também é necessária a realização de estudos geotécnicos para o projeto das fundações dos diques.

Os impactos que podem ser causados por CDFs, durante a construção e o preenchimento dos diques, incluem modificações de habitats, mudanças nas condições hidrológicas (nos padrões de circulação), dificuldades à navegação, aspectos estéticos e conseqüências de acidentes. Se a CDF for construída em terra, há que se considerar os riscos de contaminação do lençol freático, vazamentos, e o comportamento do material dragado no interior do mesmo.

Enquanto estiver ocorrendo a disposição, o material dragado será oxigenado pela mistura propiciando a oxidação e liberação de contaminantes. Após cessar a disposição, o sedimento decanta e volta à condição anaeróbia e redutora, com uma camada de água sobrenadante que, se não for drenada, isola o sedimento do contato com o ar, condição semelhantes à que se encontra por exemplo no Canal de Piaçagüera. Ao secar, apenas a camada da interface ar-sedimento se oxida; nos centímetros logo abaixo a condição anaeróbia e redutora é mantida.

O efluente líquido provindo de um CDF deve obedecer aos padrões de qualidade de efluentes, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86. Deve, também, ser avaliada a toxicidade daquele efluente.

Outra questão é que, com o ressecamento do sedimento, muitos compostos voláteis são desprendidos para a atmosfera. Além disso, a construção do dique aumenta drasticamente os custos referentes ao processo como um todo. Segundo a USACE, o custo unitário para dragagem e disposição final em áreas confinadas por diques é, pelo menos, cinco vezes maior do que o correspondente, por exemplo, ao lançamento no mar. Outros problemas são a contaminação do lençol freático, o odor que exala dos sedimentos, os efeitos sobre a paisagem e a possibilidade de impactos sobre a fauna e a flora.

Por outro lado, os CADs não interferem com os usos múltiplos da área onde serão instalados e não criam impactos estéticos, pois enquanto o aterro industrial é visível, o CAD é subaquático. A única limitação é que, nas CADs, não há destruição ou detoxificação do sedimento contaminado, como ocorre num aterro industrial Classe 1, construído em terra. Em realidade, a disposição aquática contida (CAD) é especialmente útil para a disposição de material dragado contaminado, mesmo em águas bastante rasas. Este processo tem sido largamente empregado nos EUA, Holanda, Hong Kong, etc., sendo o caso mais recente, de incontestável sucesso, o do Porto de Boston.

A duração de um CDF depende da consolidação do material em seu interior, do clima, da sua dessecação e das condições de operação do sistema e, assim como um aterro industrial, os CDFs representam passivos ambientais. Nos EUA, o custo da utilização de CDFs para contenção de sedimentos varia entre US\$ 14 e US\$ 46/m³. Assim, a disposição de sedimentos contaminados pode ser mais barata do que em aterros industriais em terra, onde o custo será de US\$ 18 a US\$ 46/m³ (EPA, 1994).

As vantagens da realização de CDFs são as seguintes:

- Custo baixo quando comparado com o tratamento dos sedimentos, especialmente com o tratamento *ex situ*;
- É compatível com uma grande variedade de técnicas de dragagem, especialmente como lançamento direto através de dutovias hidráulicas;
- Se bem planejada e a disposição for bem conduzida, resultará numa elevada retenção de sedimentos e de contaminantes a eles associados;
- As técnicas de engenharia necessárias são convencionais;
- O monitoramento do comportamento do material nas cavas e da eficiência da retenção dos mesmos pela cobertura pode ser facilmente planejado e realizado;
- A área das cavas pode ser destinada a uma grande variedade de usos, com as devidas salvaguardas.

5.5.3.1 Dique do Canal C

A área industrial da COSIPA possui uma área interna de 12.500.000 m², sendo 5.493.540 m² de área construída e 7.006.460 m² de áreas de atividade ao ar livre ocupadas, principalmente, por pátios

de matérias-primas e produtos, vias de tráfego ferroviário e rodoviário, e equipamentos. Dentro do canteiro propriamente dito, não se dispõe de espaço disponível para a construção de um aterro industrial para a disposição do material dragado.

Outrossim, a área de lançamento dos efluentes do Canal C – situada entre o Cais 2, o Morro do Casqueirinho e a desembocadura do Canal C de drenagem de águas pluviais e industriais da COSIPA – é um importante passivo ambiental, por conter material contaminado depositado em épocas passadas. Esse material é permanentemente lixiviado pelas águas superficiais e apresenta instabilidades e deslizamentos no sentido da bacia de evolução, principalmente quando são realizadas dragagens de manutenção da mesma.

Essa área possui 92.352 m² e uma profundidade de cerca de um metro abaixo do nível da maré média, e parte das suas margens laterais sofre alagamento com a variação da maré. O lado que se confronta com o Cais 2, e que foi construído sobre estacas, tem um talude escavado no sedimento até a profundidade de 13 m, de forma a permitir a atracação de navios.

Devido à existência de cerca de 120.000 m³ de material contaminado na área, uma das exigências da CETESB foi o confinamento *in loco* deste passivo ambiental, o qual poderá ser inserido no contexto de dragagem e desassoreamento da bacia de evolução e canal de acesso. Essa alternativa, portanto, além do confinamento exigido, possibilita a criação de uma área de disposição de 520.000 m³ de sedimentos.

O confinamento se fará por meio de uma cortina de painéis pré-moldados de concreto e por diques de material granular ou material de escória de alto-forno. O atual canal de drenagem C e os demais canais que convergem para a área deverão ser relocados.

A escavação da bacia de evolução será realizada por draga de sucção e recalque de menor capacidade, possibilitando uma disposição controlada, com menor turbilhonamento e arraste de sólidos. A disposição está prevista para ser iniciada junto à cortina de estacas, onde a profundidade é maior, possibilitando uma decantação mais acelerada.

Após o adensamento do material disposto, será executada um recobrimento, sobre o qual será implementada a reurbanização e a drenagem superficial da área.

O principal impacto previsto para essa alternativa será sobre as águas do Canal de Piaçagüera, pela turbidez provocada durante a construção do dique. A eventual contaminação pela água da dragagem será pouco relevante, pelo atual estado de degradação e contaminação da área por onde se dá o escoamento dos efluentes provenientes da área industrial da COSIPA. Recalques e rupturas de solos moles da fundação ocorrerão, tanto durante as fases de construção do dique quanto na fase de disposição dos sedimentos contaminados dragados.

5.5.3.2 Dique do Furadinho

O Dique do Furadinho foi construído, originalmente, para conter os materiais resultantes de dragagens. Trata-se de região localizada ao sul da COSIPA, em área compreendida entre o aterro de resíduos, o Morro do Casqueirinho, o Canal de Piaçagüera, o braço ocidental do rio Cubatão e o rio Piaçagüera.

Partes de sua área original estão reservadas para outros fins, da seguinte forma:

- Dique ecológico com área de 82.266 m², conforme exigido na Deliberação CONSEMA n° 034, de 09/11/88, que aprovou EIA/RIMA referente à disposição do material de dragagem no local.
- Aterro de resíduos industriais de Classes 2 e 3, com área final prevista de 320.000 m², cuja concepção e projeto foram avaliados e aprovados pela CETESB e Secretaria de Meio ambiente.
- Faixa de proteção de mananciais e de transição, com largura de 300 m a partir dos corpos de água, em todo o entorno do dique, conforme determinado pelo Departamento de Proteção de Recursos Naturais da Secretaria de Meio Ambiente.

Pela sua proximidade do canal a ser dragado, por já ter impactado o meio ambiente e representar um importante passivo ambiental a ser recuperado, e por dispor de área suficiente para a deposição de material – respeitando-se todas as restrições impostas pelos órgãos ambientais – foi desenvolvido um estudo para a utilização da região interna do atual Dique do Furadinho. Esse estudo prevê a construção de módulos para o confinamento dos sedimentos, adotando-se todas as medidas cabíveis para o isolamento, controle e monitoramento dos contaminantes.

Essa alternativa contempla a construção de diques de contenção para a disposição de uma camada de material com altura limitada a dois metros. Pela grande área disponível, poderá ser utilizado para o lançamento de até 2.000.000 m² (já considerando empolamento).

Os módulos seriam definidos a partir da construção de diques, com com 2,5 m de altura, revestidos internamente por uma manta geotêxtil e geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade). Internamente, seria construída uma trincheira de vedação ou *cut-off*, na fundação, utilizando-se solo argiloso para impermeabilização de todo o perímetro do dique. Seria mantida uma borda livre de 0,5 m, para contenção das águas das chuvas, e construída uma lagoa de decantação conjugada a uma caixa de controle, para monitoramento das águas pluviais e da água de retorno da dragagem. Estando o índice de qualidade dentro dos limites aceitáveis, a água efluente seria liberada através de tubulação de volta ao estuário.

A escavação dos sedimentos poderá ser realizada por draga tipo *clam-shell* ecológico, e transporte por caminhões embarcados – no caso de volumes menores – e draga de sucção e recalque para volumes maiores.

Essa alternativa irá impactar o meio biótico, porém de modo temporário e reversível, e poderá alterar a qualidade das águas do Canal de Piaçagüera, por contaminações eventualmente provocadas por lançamentos, infiltrações e vazamentos. Outrossim, a implementação das obras, com a construção de um novo sistema de drenagem mais adequado, terá efeito positivo sobre o escoamento das águas superficiais na região, já bastante degradada.

Impactos de ordem geotécnica, tais como recalques e rupturas de solos moles da fundação dos diques, também poderão ocorrer durante e depois da construção dos mesmos. Após concluídos seus

taludes externos estarão submetidos à ação mecânica das águas das chuvas, ficando susceptíveis à instalação de processos erosivos caso não sejam adequadamente protegidos. Destaque-se no entanto, que o dique existente não sofrerá pressões uma vez que será preservada uma faixa de 300 m a partir da linha d'água em toda a volta. A contenção do material dragado será feita por novos diques, internos. Os estudos geotécnicos realizados indicam que as fundações do Dique do Furadinho suportam uma camada de sólidos de até 2 m de altura sem necessidade de quaisquer reforços.

5.5.4 Disposições Especiais

Essas disposições compreendem a utilização de aterros industriais para resíduos Classe 1 e de áreas já degradadas, em terra, fora da propriedade da COSIPA ou de áreas sob sua responsabilidade.

5.5.4.1 Aterros Industriais Classe 1

Os aterros têm sido o destino preferencial de resíduos sólidos, tanto industriais como domiciliares, sendo implantados segundo normas estabelecidas pelos órgãos de controle ambiental e por eles fiscalizados. Os aterros industriais, por sua vez, têm que ser construídos com exigências mais rígidas do que os sanitários, para resíduos sólidos municipais, pois o risco que oferecem ao meio ambiente e à saúde pública é significativamente maior.

Essa alternativa de disposição foi analisada com base no “Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Baixada Santista”, bem como o Estudo de Impacto Ambiental realizado pela PROEMA/UMAH em 1996 e a “Carta do Meio Ambiente e de sua Dinâmica”, desenvolvida pela CETESB em 1976. Esses trabalhos ratificam e enfatizam que a Baixada Santista é uma planície com inúmeros rios, repleta de manguezais e de áreas alagadas. Os núcleos urbanos dos municípios formaram-se sobre as terras firmes existentes e se expandiram, com as especulações imobiliárias, invadindo, inclusive, áreas de manguezais, encostas serranas e morros na região.

Hoje, grande parte da Baixada Santista é de áreas naturais protegidas, destinadas à conservação, preservação, proteção e controle ambiental, compreendendo áreas tombadas, estações ecológicas e parques estaduais. Em vista disso, todos os municípios da Baixada Santista têm se deparado com uma preocupante falta de espaço em terra firme, para a disposição adequada de seus resíduos sólidos, sejam eles de origem industrial ou urbana.

O aterramento de áreas para essa disposição representa uma preocupante ação ambiental, não apenas pelas dificuldades de implantação pela instabilidade geotécnica dos terrenos e interferências com o lençol freático, mas também pelos impactos negativos decorrentes da exploração de materiais de empréstimo a ser obtidos na serra, morros, pedreiras, etc. A CETESB tem feito, corretamente, restrições à implantação de aterros na região, em função do reconhecimento da intensidade dos impactos sobre os meios físico e biótico regionais associados à inevitável degradação ambiental nas áreas de empréstimo e dos eventuais aterros.

Mesmo que se dispusesse de uma área suficientemente grande para a construção de um aterro industrial que abrigasse todo o lodo dragado do Canal de Piaçagüera, seria necessário um longo período de tempo para a elaboração do projeto de construção do mesmo, seu licenciamento e o

preparo da área. A essas dificuldades – que já inviabilizam essa alternativa pelo caráter emergencial da dragagem – somar-se-iam os ônus ambientais e econômicos decorrentes do transporte do lodo contaminado por caminhões, desde a área de transbordo para um depósito temporário em terra, também a ser construído e aprovado pelos órgãos ambientais, e daí para a área do aterro.

Cabe ressaltar ainda que, pelas restrições ambientais e de disponibilidade de espaço, o Município de Cubatão e toda a região da Baixada Santista não possuem aterros Classe 1. Nesse caso, os 2.500.00 m³ de lodo teriam que ser transportados para aterros em outros municípios e estados, saindo pelos sistemas Piaçagüera-Guarujá e Anchieta-Imigrantes. Considerando-se o emprego de caminhões com capacidade de 20 m³ e um volume de lodo de 2.000.000 m³ – já adensado e preparado – seriam cerca de 100.000 viagens, com elevados custos de transporte, riscos de acidentes de trajeto, risco ambiental e a total saturação do sistema viário que serve a região, pelo incessante tráfego de veículos.

Haveria, ainda, a necessidade de negociações com outros municípios para o recebimento do material, sendo evidentes as dificuldades na aceitação de um grande volume de lodo contaminado e dos riscos ambientais envolvidos.

Registre-se também que não existe, no Brasil, aterro industrial com capacidade instalada para receber um volume de resíduos dessa monta.

5.6.4.2 Cavas Criadas pela Mineração

Com base no “Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Baixada Santista” e no Estudo de Impacto Ambiental, citados anteriormente, a única área que apresenta possibilidades mais concretas para receber o material dragado é uma antiga área de extração de granito composta por duas cavas com área total de 82 ha, localizada no Município de Santos, próximo à rodovia SP-55. Essa área foi reservada por aquele município para a implantação do futuro aterro sanitário municipal tendo sido elaborado, inclusive, o seu respectivo EIA/RIMA, o qual já foi aprovado pela Secretaria de Meio Ambiente.

Não foram identificadas outras cavas ou pedreiras na região que apresentassem condições de receber o material dragado do Canal de Piaçagüera, em especial pelas suas características.

Mesmo que se dispusesse de tais áreas, haveria a necessidade de um período de tempo para negociação com o proprietário das mesmas, de um estudo de projeto para a disposição do material dragado nas mesmas, de licença ambiental e da implantação de toda uma estrutura para receber e transportar o lodo dragado.

5.5.5 Processos Industriais

Compreendem a industrialização dos sedimentos dragados, pela sua incorporação nesses processos, reuso após algum tratamento, co-processamento em fornos de cimento e incineração.

5.5.5.1 Incorporação Dos Sedimentos em Processo Industrial

Considerando-se a remoção de 2.500.000 m³ de material, num ritmo estimado de cerca de 10.000 m³ de dragagem por dia, e uma densidade de 1,15 t/m³ para o lodo e 2,73 t/m³ para o sólido seco, teremos 11.150 t diárias, sendo 2.290,47 t de sólidos e 8.859,53 t de água.

Para a avaliação da viabilidade de destinação dos sedimentos no processo siderúrgico, foram estudadas as três unidades com maiores possibilidades de recebimento do material: as baterias de coque, a sinterização e os altos-fornos. Como qualquer processo industrial, essas unidades têm peculiaridades de funcionamento e requisitos mínimos de qualidade para as matérias primas que processam. Composição química, granulometria, teor de umidade e taxa de alimentação são os aspectos primordiais a ser respeitados, sendo que os sedimentos do canal não apresentam nenhuma característica que se encaixe nesses padrões ou os identifique como matéria prima ou insumo energético para qualquer uma dessas três unidades siderúrgicas.

Uma outra possibilidade analisada, foi a do processamento de pequenas quantidades para destruição/incorporação pelo processo siderúrgico, tendo-se que se considerar, nesse caso, a necessidade de manuseio e estocagem dos volumes a ser processados diariamente.

O sedimento teria que ser transferido das barcaças para tanques de acumulação com capacidade de estocagem de, pelo menos, três dias e volume de 30.000 m³. Como não existem tais tanques disponíveis, seria necessária a construção de tancagem em uma área de 3.900 m², com as fundações estaqueadas para suportar as cargas aplicadas.

Para se reduzir os volumes e pesos envolvidos, eliminando-se a água, os sistemas de adensamento por decantação e filtragem não se aplicam ao processo, visto que o máximo de redução de umidade obtido seria de 30%, não permitindo o manuseio do sedimento em condições satisfatórias, e os compostos oleosos presentes trariam dificuldades operacionais ao sistema de filtros. A secagem dos sedimentos por aquecimento também deve ser descartada, pelo elevado consumo de energia térmica e as restrições às emissões atmosféricas decorrentes da queima do combustível.

A centrifugação seria, então, a alternativa menos inviável, pois permitiria a redução da umidade a níveis de 6% a 8%, mas não existem disponíveis, no mercado, equipamentos com capacidade para tratar 10.000 m³ de sedimentos por dia, estimando-se em, no mínimo, dois anos, para o projeto, fabricação, montagem e teste de tal equipamento.

Finalmente, caso se obtivesse uma redução da umidade para 8%, seriam gerados 8.660 m³/dia de água, a ser tratada, antes do seu lançamento no corpo d'água receptor, na ETB – Estação de Tratamento Biológico da coqueria, único sistema capaz de tratar os contaminantes presentes, mas com sua capacidade máxima de tratamento – de 117 m³/h ou 2.808 m³/dia – esgotada. Seria, então, necessária, uma estação com capacidade três vezes maior que a existente, a ser construída, prevendo-se um período de, pelo menos, três anos para a sua implementação, além dos custos envolvidos.

Apesar da flexibilidade do processo siderúrgico para tratar/incorporar materiais endógenos não há, portanto, na COSIPA, possibilidade técnica de se absorver os sedimentos dragados, nas quantidades em que os mesmos serão gerados. Como ficou demonstrado, para que isso pudesse ser

feito haveria a necessidade da disponibilização de enormes tanques-pulmão e de pré-tratamento do material, e ocorreriam riscos ainda não conhecidos de interferência na qualidade dos produtos finais.

5.5.5.2 Reuso do Material Dragado

Uma possibilidade de redução dos custos das operações de dragagem é por meio do reuso do material dragado, aproveitando-se a fração arenosa dos sedimentos como material natural de construção ou insumo para a fabricação de vidro. A separação da areia do material dragado apresenta o mesmo nível de custo da sua disposição, sendo, portanto, bastante vantajosa.

No caso do Canal de Piaçagüera, infelizmente, o reuso dos sedimentos não é possível devido à predominância da fração silto-argilosa, de natureza lodosa, e especialmente pela sua contaminação.

Haveria que se considerar, ainda, os impactos ambientais e os custos envolvidos no transporte do lodo contaminado e na construção de diques-pulmão para armazenamento provisório e aterros industriais para a disposição final do lodo inaproveitável. Também haveria riscos e incertezas quanto à eventual presença de contaminantes no material destinado à construção civil.

5.5.5.3 Co-processamento em Dornos de Cimento

O co-processamento ou co-incineração em fornos de clínquerização é a utilização do processo de fabricação de cimento para a destinação final de resíduos industriais. Segundo a Resolução CONAMA nº 264/99, é a *“técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento destes, como substituto parcial de matéria prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento”*.

Os dispositivos que regulamentam o co-processamento dentro e fora do país estabelecem que o resíduo a ser co-processado deve ter um poder calorífico mínimo, ou que sua parte inorgânica seja utilizada como substituto de matérias primas no processo de produção de clínquer. Além disso, as propriedades do cimento produzido devem permanecer inalteradas, sem prejuízo de qualidade e sem impacto adicional ao meio ambiente.

As características dos sedimentos do Canal de Piaçagüera não se enquadram nos requisitos legais necessários ao co-processamento, o que já inviabiliza a aplicação desse processo como alternativa. Não obstante, foram analisados outros fatores intervenientes.

O co-processamento de resíduos já tem, contra ele, as inúmeras críticas que vem recebendo, por criar novos problemas ambientais como o lançamento, para a atmosfera, de dioxinas, furanos e metais pesados. Além disso, tem que ser considerada a capacitação e disposição das indústrias em realizar a co-incineração dos 2.500.00 m³ de lodo contaminado.

A co-incineração poderia, por exemplo, ser realizada pela indústria cimenteira, mas, nesse caso, não seria possível garantir que a presença de substâncias tóxicas não traria conseqüências ambientais, pois os contaminantes eventualmente incorporados ao cimento poderiam ser lixiviados e trazer riscos à saúde pública. A disposição futura dos produtos do cimento teria que ser controlada e obedecer a normas ambientais bem definidas.

Outrossim, o lodo necessitaria ser transferido para uma área em terra, onde seria armazenado para posterior transporte até a indústria que realizaria a co-incineração. Todo esse sistema geraria riscos ambientais diversos, relacionados ao transporte por caminhões ou lododuto e à construção de um aterro com cuidados ambientais especiais, para a sua estocagem até ser co-incinerado.

Quanto à capacitação do parque industrial, os fornos de clinquerização licenciados para o processamento de resíduos são os do Cimento Ribeirão Branco, Cimento Ribeirão Grande, Cimento Rio Negro, Cimento Paraíso, Cimento Lafarge, Cimento Ciminas, Cimento Cauê e Cimento Soecom, situados fora da Baixada Santista. Caso toda a indústria cimenteira nacional estivesse à disposição para a queima do lodo dragado, sua capacidade de incineração seria de apenas 24.000 t/mês, demandando um período de anos para o tratamento de todo o material dragado do Canal de Piaçagüera.

Também há a questão das dificuldades de transporte do lodo, pois as empresas mencionadas estão localizadas no Paraná, Rio de Janeiro, Minas Gerais e em Ribeirão Grande (SP).

5.5.5.4 Incineração

A incineração é definida como sendo a destruição térmica através da combustão, ou seja, a oxidação a altas temperaturas. Nesse processo, são de fundamental importância o controle da temperatura (geralmente acima de 900 °C), o tempo de residência (mínimo de 0,5 segundos), o controle da combustão e, principalmente, das emissões gasosas de produtos químicos como dioxinas e furanos.

Existem hoje no Brasil, apenas oito empresas ambientalmente capacitadas a prestar serviços para terceiros através da incineração de resíduos classificados como Classe 1, com capacidades variáveis entre 2.700 t/ano e 18.000 t/ano. No Estado de São Paulo estão a ABL em Cosmópolis, BASF em Guaratinguetá, CLARIS em Suzano, CIBA GEIGY e TERIS em Taboão da Serra, e a RHODIA, única na Baixada Santista, com capacidade de 18.000 t/ano.

Conforme se observa, o grande problema na utilização dos incineradores das indústrias é a baixa capacidade nominal de incineração, mesmo sem se cogitar se há disponibilidade das mesmas para a incineração dos sedimentos dragados do Canal de Piaçagüera. Além disso, há que se considerar, também, os impactos ambientais e custos do transporte ferroviário ou rodoviário, a necessidade de instalação de áreas de armazenamento do lodo, para posterior incineração, e os riscos de contaminação atmosférica.

A hipótese de se construir um incinerador específico para tratar o lodo dragado do Canal de Piaçagüera foi descartada face ao tempo necessário para a elaboração do projeto, à obtenção da licença ambiental e à construção do incinerador.

5.5.6 Tratamentos

Os tratamentos para a redução da periculosidade dos sedimentos podem ser químicos ou por encapsulamento e bioremediação, conforme descrito a seguir.

5.5.6.1 Tratamento Químico

O *National Water Research Institute of Environment Canada* desenvolveu uma técnica de tratamento *in situ* de sedimentos para a empresa Limnofix Inc., que envolve bioremediação, oxidação, estabilização e remoção de água do sedimento. Pode ser utilizada para a biodegradação de contaminantes orgânicos como PAHs, BTX e hidrocarbonetos do petróleo; controle dos problemas causados pelos sedimentos anóxicos como odores, liberação de nutrientes e toxicidade causada pelos sulfitos; aumento da eficiência da dragagem através da redução da água no sedimento antes da dragagem, e a consolidação e floculação do sedimento para produzir superfícies de sedimentos mais estáveis.

Os produtos químicos utilizados são aplicados no sedimento *in situ* através de um braço mecânico especial, e a embarcação utilizada deve ser capaz de armazenar, no mínimo, uma tonelada de produtos para o tratamento, que incluem oxidantes para sulfitos (que são tóxicos para bactérias), para sulfatos não tóxicos e nutrientes (N, P e C), que aumentarão a proliferação bacteriana e sua atividade. Um agente floculador também é adicionado, para evitar a ressuspensão do sedimento no momento da injeção da mistura de tratamento.

Além dessa técnica, têm sido utilizadas outras que envolvem separação química, destruição térmica e tecnologias de imobilização, com bons resultados, embora sejam caras, complexas e eficientes somente para o tratamento de alguns tipos de sedimentos. As técnicas de destruição química ou térmica são dificilmente aplicáveis para grandes volumes de sedimentos, como é o caso do Canal de Piaçagüera.

Em 1992, foi realizado, no Porto Hamilton, um tratamento *in situ* de sedimentos para a eliminação de contaminantes orgânicos, tendo sido aplicadas 18,5 toneladas de nitrato de cálcio e 5 toneladas de nutrientes. No laboratório, os testes mostraram que 78% e 68%, respectivamente, de óleo (TPH5) e de PAHs, biodegradaram em 197 dias. A biodegradação de contaminantes orgânicos variou de 79% para compostos de baixo peso molecular (BTXs) a 16% para contaminantes do grupo PAHs prioritários. O tratamento resultou na produção da naftalenos mas o processo foi considerado satisfatório (*Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 4 (3): 195-203).

A dificuldade em se procurar aplicar este tipo de tratamento no presente caso é a demora na realização de testes em laboratório e, depois, no campo, com acompanhamento de contínua avaliação química da eficiência do processo. Em realidade, estamos frente à necessidade de uma dragagem e disposição final do material dragado em caráter de emergência.

O tratamento *ex situ* apresenta tantos problemas técnicos, que sua aplicação a grandes volumes de sedimentos contaminados, como os do Canal de Piaçagüera, se torna extremamente cara e difícil de ser realizada. Mas é uma técnica que, para volumes menores de sedimentos, poderia ser praticada, tendo vantagens sobre a bioremediação *in situ*, pois pode ser mais bem controlada.

Para sua realização, necessita-se de uma área com dique para contenção dos sedimentos, a qual será tanto maior quanto maior for o volume de material a ser tratado. Esse tipo de tratamento tem sido, até o presente momento, praticado com algum sucesso em projetos-piloto, mas tem-se que considerar a variedade e quantidade de contaminantes presentes nos sedimentos, os riscos de contaminação do lençol freático, o tempo necessário e a complexidade dos métodos construtivos quanto à dragagem, transporte do material dragado até o local de tratamento em terra e seu acondicionamento, remoção e transporte do material tratado, e disposição final do material dragado em aterro industrial ou mar.

Os japoneses têm utilizado o tratamento do material dragado altamente contaminado para evitar violação da qualidade da água do corpo receptor e impacto sobre as comunidades bentônicas, porém, segundo a EPA, essa estratégia não tem sido amplamente utilizada e sua efetividade não foi demonstrada para a solução do problema de liberação de contaminantes durante a disposição final do material dragado.

Assim, a aplicação de testes para o uso de técnicas de tratamento de sedimentos contaminados; como no presente caso; somente poderão ser utilizadas após complexos e demorados estudos de toxicidade, o que inviabiliza a utilização de tais processos para os sedimentos do Canal de Piaçagüera, dado o caráter emergencial da dragagem.

5.5.6.2 Encapsulamento

A técnica de encapsulamento ou microencapsulamento, usada nos EUA e em vários outros países da Europa e também no Japão, é denominada *stabilization/solidification technology*, e é relativamente nova no Brasil, estando direcionada, basicamente, ao tratamento de resíduos industriais tóxicos ou não, classificados como Classes 1 e 2 pela Norma NBR-10.004 da ABNT. É considerada adequada para o tratamento de determinados resíduos, antes de seu envio a aterros para disposição final.

Vários agentes encapsulantes podem ser utilizados sendo estes, geralmente, compostos minerais que têm, como elemento ativo, um sílico-aluminato de cálcio e magnésio. São caracterizados por sua alta superfície específica (até 400 m²/g) e alta capacidade de troca catiônica (até 150 miliequivalentes/100g).

Segundo a EPA, esse tratamento não se aplica a todo e qualquer resíduo. Para seu uso, há que se considerar a qualidade, composição e propriedades físicas dos resíduos, bem como a localização da fonte geradora e os problemas específicos de disposição a eles associados. Em 1988, esse órgão publicou um guia com as diretrizes para a disposição de resíduos encapsulados denominado *Guide to the disposal of chemically stabilized and solidified waste*, no qual se encontram as recomendações para utilização dessa tecnologia e os critérios adotados para a sua aprovação.

Os resíduos mais apropriados para este tipo de tratamento são aqueles que contém íons metálicos ou semimetais; resíduos oleosos e à base de solventes; resíduos aquosos contendo grandes quantidades de substâncias orgânicas (emulsões) solúveis e insolúveis, listadas como perigosas pela legislação, ou não listadas como perigosas mas contendo óleos; resíduos aquosos contendo baixos

teores de contaminantes orgânicos listados como perigosos (menos de 1%) e geralmente na faixa de 10 a 1000 mg/l, como pentaclorofenóis ou bifenilas policloradas, e borras, óleos, gases ou fluidos geotérmicos de lubrificação.

A eficácia dos complexos argilo-minerálicos na estabilização de resíduos contendo orgânicos é devida à adsorção de contaminantes ao complexo. Essa adsorção se processa por troca iônica, precipitação química e químio-adsorção. O encapsulamento imobiliza os contaminantes dentro de uma matriz, reduzindo sua mobilidade através do material e impedindo que os contaminantes saiam da massa de sedimento, por processos de lixiviação.

O uso da técnica de encapsulamento, junto com a de disposição do sedimento dragado em cavas, aumentaria, em muito, a segurança da mesma, tanto pela retenção dos contaminantes pelos complexos argilo-minerálicos, como por garantir que o material caia efetivamente nas cavas e não se disperse para o canal. Além disso, diminuiria o efeito do choque do sedimento com o fundo da cava, ou seja, a ressuspensão do mesmo e sua disseminação pelo canal.

Apesar da eficiência na remoção de moléculas orgânicas classificadas como não iônicas ou apolares, como é o caso de óleos minerais, e na redução de contaminantes disponíveis para a lixiviação, existe a possibilidade de muitos contaminantes não receberem tratamento, podendo ocorrer a migração destes da massa estabilizada para o meio circundante, representado pelo aterro ou solo.

O método mais utilizado é a mistura do material encapsulante no próprio local de disposição, mas sempre haverá o risco de migração de contaminantes da massa estabilizada para o meio circundante, o que exige que ela disposta em um aterro industrial Classe 1. Já existem, no mercado nacional, tratamentos disponíveis com essa técnica, mas para o seu uso no lodo dragado do Canal de Piaçagüera seriam necessários testes com diversos tipos de encapsulantes, para avaliação da eficiência dessa alternativa, dos volumes de encapsulante necessários e a aprovação pelo órgão de controle ambiental.

Outro problema a ser gerado seria o aumento dos volumes de disposição do resíduo final – pelo acréscimo do volume do encapsulante ao volume do lodo – que aumentaria, ainda mais, os custos de todo o processo de dragagem e disposição final do material dragado, e requereria áreas maiores para a disposição final.

Mas o grande obstáculo para o emprego dessa técnica acoplada à disposição em aterro industrial, no presente caso, é o grande volume de lodo a ser tratado, além da necessidade de construção de aterros industriais e do transporte do material dragado, por meio de caminhões, até o local de tratamento.

5.5.6.3 Bioremediação

A bioremediação envolve o aumento da biodegradação microbiana, fornecendo ao sedimento materiais nele ausentes como oxigênio e nutrientes, ou mesmo inoculando microrganismos conhecidos como degradadores de determinados contaminantes. A biodegradação de contaminantes tem sido observada para uma variedade de compostos orgânicos como óleo cru, óleo diesel,

produtos do petróleo, benzeno, tolueno, xileno, hidrocarbonetos poliaromáticos, compostos fenólicos clorados e muitos pesticidas.

Numerosos fatores limitam o uso de processos biodegradativos, como a complexidade do ecossistema sedimento-água; a dificuldade em se controlar os processos físicos, químicos e biológicos no sedimento, e a necessidade de se ajustar os vários estágios do processo biodegradativo às condições ambientais, o que acaba limitando a efetividade da bioremediação *in situ*.

Como se conhece ainda muito pouco sobre o potencial biodegradativo de microrganismos marinhos, não se sabe até que ponto e com que eficiência, experimentos realizados em terra e em corpos hídricos interiores, também se aplicam aos ambientes marinhos e estuarinos. Uma questão que se apresenta é: até que ponto um aumento da biodisponibilidade de contaminantes, pelo tratamento químico, não afetará o ecossistema bentônico, especialmente pelas suas inter-relações com o sedimento?

Também existem indicações de que as taxas de bioremediação podem afetar as características dos locais tratados, ou seja, a composição do sedimento, a hidrodinâmica, a composição da água intersticial do sedimento e, também, a biologia bentônica.

Uma das limitações dessa alternativa é que não se aplica a materiais com mais de 10% a 20% de constituintes orgânicos, em virtude da possibilidade de interferência nos processos físicos e químicos que mantêm os resíduos agregados. Embora eficiente para as altas concentrações de metais pesados, seria pouco efetivo no lodo a ser dragado do Canal de Piaçagüera, pela presença de muitos contaminantes orgânicos.

Ainda que muito interessante, os riscos ambientais decorrentes da aplicação dessa tecnologia – pela necessidade de transporte por caminhões e de construção de aterros industriais – e os elevados custos do processo e demora no tratamento de todo o lodo dragado do Canal de Piaçagüera inviabilizam sua utilização.

5.6. ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTERNATIVAS

5.6.1 Metodologia dos Trabalhos

Para a análise comparativa das alternativas estudadas, foi desenvolvido um modelo que possibilitasse uma avaliação com base nos parâmetros ambientais, operacionais e econômicos envolvidos nas etapas de escavação, transporte e disposição dos sedimentos a ser escavados. Para cada parâmetro considerado, foram atribuídos graus, os quais receberam uma pontuação que representasse o peso ou importância do parâmetro analisado, do ponto de vista qualitativo.

Apesar da subjetividade inerente às pontuações adotadas, a aplicação de um critério único possibilita uma comparação das alternativas em termos relativos, que permite visualizar, dentro de um mesmo contexto, as mais ou menos favoráveis, obtendo-se uma classificação. Uma avaliação quantitativa só seria possível a partir de um estudo de viabilidade técnico-econômica-ambiental de cada alternativa, o qual demandaria tempo, estudos detalhados e, no caso de algumas alternativas, até mesmo pesquisa tecnológica, tendo-se que recorrer, ainda assim, a aproximações e projeções.

Os graus aplicados aos parâmetros compreenderam, sempre, apenas duas ou três possibilidades, de forma a indicar sua presença-influência ou não, ou o peso de sua incidência, traduzido como pequeno-baixo-nulo, médio-parcial ou grande-alto.

Devido às muitas possibilidades e as variáveis inerentes a cada parâmetro ou alternativa, as pontuações foram estabelecidas segundo faixas de variação, as quais aumentam exponencialmente para representar, de forma ponderada, o peso ou importância do grau atribuído ao parâmetro analisado. Sua distribuição foi estabelecida a partir de progressões geométricas de razão (q) = 2; 2,5; 5; 10; 25; 50 ou 100, para diferenciar de forma mais enfática e significativa a importância do parâmetro.

Os parâmetros ambientais avaliados contemplaram os impactos sobre os meios físico, biótico, sócio-econômico e do patrimônio arqueológico e paisagístico, e foram analisados somente quando de natureza negativa. Foram classificados quanto à sua duração, reversibilidade, magnitude, relevância/significância e abrangência, conforme os graus e pontuações indicados a seguir.

Tabela 5.2 - Graus de pontuação

Classificação	Grau e Pontuação		
Duração	Temporário: 1		Permanente: 25
Reversibilidade	Reversível: 1		Irreversível: 50
Magnitude	Pequena: 1	Média: 25	Grande: 50
Relevância / Significância	Baixa:1	Média: 50	Alta: 100
Abrangência	Interna à COSIPA: 1		Externa à COSIPA: 25

A magnitude diz respeito à abrangência relativa do impacto nos âmbitos local e regional, e a relevância/significância considera todo o conjunto de parâmetros avaliados, representando a importância do mesmo no contexto ambiental.

O parâmetro abrangência diz respeito à localização e permanência de cada alternativa avaliada – durante todas as suas etapas operacionais – exclusivamente dentro dos limites da área pertencente ou sob gestão da COSIPA ou, alternativamente, estendendo-se para além destes limites. Sob esse aspecto, foram consideradas mais favoráveis as alternativas cuja responsabilidade e ônus pelo controle, monitoração e mitigação dos impactos ambientais causados sejam apenas do empreendedor.

Os parâmetros operacionais e econômicos contemplaram os aspectos técnico-econômicos relacionados à implementação de cada alternativa nas etapas de escavação, transporte e disposição de sedimentos. Nas alternativas que envolvem processos industriais e tratamentos químicos ou biológicos, tais procedimentos foram avaliados na etapa de disposição, que abrangeu os depósitos temporários, o processo ou tratamento propriamente dito, e a disposição final do sedimento processado ou tratado.

Foram analisados os seguintes parâmetros, com seus respectivos graus e pontuações:

Tabela 5.3 - Parâmetros de análise e graus de pontuação

Parâmetro	Grau e Pontuação		
	Negociações com terceiros	Não necessárias: 1	
Navegação	Interferência Baixa: 1	Interferência Média: 10	Interferência Alta: 25
Custos	Baixos: 1	Médios: 5	Altos: 10
Tecnologia	Disponível: 1		Indisponível: 100
Capacitação	Plena: 1	Parcial: 50	Nula: 100
Reaplicação Futura	Possível: 1	Parcial: 10	Impossível: 25

O parâmetro navegação diz respeito à interferência provocada pelas obras nas diferentes etapas de cada alternativa, sobre o tráfego de navios no Canal de Piaçaguiera e estuário santista. Interferência baixa (1) corresponde a pouca ou nenhuma interferência; interferência média (10) corresponde a um aumento significativo do tráfego de navios, demandando sinalização e controle intermitentes ou contínuos, e interferência alta (20) envolve desvios e paralisações do tráfego normal de navios.

Os custos das alternativas foram avaliados considerando-se os métodos de escavação a ser adotados, os tipos de transporte e os métodos construtivos ou de tratamento a serem utilizados, visando a destinação ou disposição final dos sedimentos. Alguns métodos de escavação e transporte já incluem a etapa de disposição dos sedimentos, de custo nulo nessa etapa, mas adotado como baixo para fins de avaliação.

Devido às dificuldades em se estimar o custo total de cada alternativa – em especial as que envolvem processos industriais – e à necessidade de tratamentos complexos ou obras geotécnicas onerosas em alternativas com menor capacidade volumétrica para a disposição dos sedimentos, foram utilizados os custos unitários de escavação, transporte e disposição para fins de comparação. Dessa forma, os custos das etapas de escavação e disposição, para os diferentes métodos construtivos, foram estimados em R\$/m³, e os de transporte em R\$/m³/km.

Como custo baixo de escavação, considerou-se o método de dragagem por sucção e recalque, com valores unitários variáveis entre R\$ 6,00/m³ e R\$ 7,50/m³, podendo chegar a R\$ 11,00/m³. Como a disposição é feita por lançamento direto em cavas ou áreas confinadas por diques, já se inclui, no seu custo, essa disposição. O transporte por linha de dutos é considerado à parte, uma vez que varia com a distância entre o local da dragagem e o da disposição.

A utilização de draga do tipo *hopper* convencional foi considerada como de custo médio, com valores unitários variáveis entre R\$ 7,20/m³ e R\$ 11,50/m³, e a escavação com *clam shell* convencional ou ecológico, escavadeiras hidráulicas embarcadas ou draga *hopper* ambiental, de valores unitários variáveis entre R\$ 9,00/m³ e R\$ 15,00/m³ ou mais, foi considerada como de custo elevado. No caso da utilização de mais de um método de escavação em uma mesma alternativa adotou-se, como representativo, aquele que corresponderia ao maior volume de escavação a ser realizado.

Na etapa de transporte, o custo considerado baixo corresponde à utilização de linhas de dutos apoiadas em terra ou sobre flutuantes, partindo de dragas de sucção e recalque, com valores

unitários variando de R\$ 1,50/m³/km a R\$ 2,10/m³/km, que representariam até R\$ 10,50/m³ para distâncias de, no máximo, 5 km.

Como de custo médio, entre R\$ 1,70/m³/km e R\$ 2,20/m³/km, considerou-se o transporte por meio de navios e batelões, que no caso do quadrilátero oceânico de disposição – cuja distância é de 25 km do trecho a ser escavado – seria de, pelo menos, R\$ 42,50/m³ incluindo-se, neste custo, a disposição dos sedimentos.

E como custo alto, adotou-se os transportes ferroviário e rodoviário, com valores unitários entre R\$ 0,45/m³/km e R\$ 0,60/m³/km, que representariam mais de R\$ 60,00/m³ para distâncias superiores a 100km, e com cuidados especiais quanto à estanqueidade dos caminhões ou vagões, para se evitar o vazamento de contaminantes.

No caso de mais de um tipo de transporte numa mesma alternativa, prevaleceu o de maior custo.

Para a etapa de disposição dos sedimentos, contemplou-se a necessidade de tratamento do material a ser disposto ou do local de disposição. Considerou-se como de custo baixo, a disposição no mar, sem qualquer tipo de tratamento, já incluída na etapa de transporte. A disposição em cavas submersas, com aplicação de cobertura, foi considerada como de custo médio, entre R\$ 7,50/m³ e R\$ 9,20/m³, e a utilização de processos industriais e tratamentos químicos ou biológicos, e disposições em terra, em áreas confinadas por diques ou que necessitem tratamentos especiais foram consideradas de custo elevado, com valores unitários que devem ultrapassar R\$ 15,00/m³.

O parâmetro tecnologia está relacionado à disponibilidade, ou não, de equipamentos e métodos confiáveis e já consagrados, especificamente para os trabalhos de disposição ou tratamento dos sedimentos. Considerou-se que, para as etapas de escavação e transporte, os meios e técnicas atualmente empregados atendem perfeitamente. No caso de tecnologias experimentais; em fase de implementação; dependentes de testes de campo e laboratório, aferições e monitoramentos, ou não consagradas nacional ou internacionalmente, as mesmas foram consideradas indisponíveis.

A capacitação diz respeito à capacidade de mobilização de máquinas e equipamentos, e disponibilidade de áreas, instalações e insumos, das empresas de construção e indústrias municipais, estaduais e nacionais, para a implementação das três etapas do empreendimento. Nos processos industriais, a possibilidade de tratamento e/ou utilização parcial dos sedimentos – independentemente das tecnologias empregadas e dos parques industriais disponíveis – foi considerada como capacitação parcial. Esse parâmetro também contemplou a disponibilidade de áreas e capacidades volumétricas de cavas e diques, para a disposição temporária e definitiva dos sedimentos a serem escavados, e necessárias à viabilização de cada uma das alternativas.

Como reaplicação futura, analisou-se a possibilidade de reutilização de cada alternativa avaliada. A reaplicação parcial diz respeito à possibilidade de ampliações nos sítios de aplicação e/ou o aumento da capacidade volumétrica das cavas para deposição de sedimentos, em longo prazo, em decorrência do adensamento do material depositado.

A avaliação final das alternativas foi iniciada pela avaliação individual de cada alternativa, pontuando-se os graus atribuídos aos parâmetros classificatórios aplicados, obtendo-se a pontuação

total de cada uma, denominada \sum_{alt} . As pontuações finais foram ordenadas de forma crescente, observando-se que, quanto menor o número de pontos, mais viável se mostra a alternativa.

A partir dos valores de (\sum_{alt}) , determinou-se o Fator de Relação (R) de cada alternativa, obtido pela razão entre a pontuação total de cada uma delas (\sum_{alt}) e a pontuação da alternativa de disposição em área oceânica $(\sum_{alt.min})$, que se refere, tão-somente, a sedimentos não contaminados, adotada como padrão.

O Fator de Relação (R) de uma alternativa representa portanto, em termos relativos, seu potencial de impacto em relação às demais, e é dado pela relação $(\sum_{alt})/(\sum_{alt.min})$, tendo sido considerado igual a 1 para a alternativa - padrão.

Finalmente, de forma a se obter um *ranking* de prioridades e permitir a seleção das alternativas que provocarão os menores impactos, estabeleceu-se um Índice de Desempenho (Id) – dado pela relação $1/R$ – o qual já levou em conta a avaliação relativa das alternativas, por comparação com a alternativa - padrão, mais vantajosa. Esse índice indicou, também, a proporcionalidade entre as mesmas quanto ao seu desempenho nos contextos ambiental, operacional e econômico.

5.6.2 Parâmetros Classificatórios

Os parâmetros utilizados na classificação das alternativas avaliadas compreenderam todos os aspectos ambientais relacionados aos meios físico, biótico e sócio-econômico, ao patrimônio arqueológico e paisagístico, e também os fatores relacionados às suas interferências, custos, tecnologias envolvidas, capacitação das empresas na sua execução, disponibilidade de áreas e possibilidades de reaplicação futura.

5.6.2.1 Meio Físico

a) Hidrologia e dinâmica superficial

Esse parâmetro contempla os impactos provocados sobre os cursos-d'água e a drenagem superficial das planícies de maré, bem como das áreas a serem exploradas como jazidas de materiais naturais de construção e áreas de disposição temporária ou definitiva de sedimentos, na forma de aterros. Como impactos de natureza negativa, entende-se as alterações provocadas na dinâmica superficial, pela obstrução de canais, desvios e concentrações de fluxos de água, que levam à instalação de processos de erosão e assoreamento em terra e em áreas submersas adjacentes a estas.

Também são considerados os efeitos dessas alterações sobre a evolução das planícies de maré, pela sua interferência indireta sobre a formação dos baixios que possibilitam essa evolução.

Nas alternativas de cava submersa no Canal de Piaçagüera, ou cavas confinadas no Largo do Cubatão, Largo do Casqueiro e Largo do Canéu considerou-se que, devido à proximidade das margens, haverá uma interferência indireta dos trabalhos de escavação para a construção das cavas e de disposição dos sedimentos sobre a hidrologia local, nos pontos de deságüe dos cursos-d'água, saída dos canais de maré e assoreamentos naturais.

b) Hidrodinâmica

A interferência sobre as correntes e marés no Canal de Piaçagüera e estuário santista, podendo levar a processos de erosão e assoreamento nesses grandes corpos d'água e, indiretamente, sobre a evolução das planícies de maré, é contemplada no parâmetro hidrodinâmica.

Em todas as alternativas avaliadas, a etapa de escavação dos sedimentos irá interferir sobre a hidrodinâmica dos corpos d'água. O transporte para disposição final ou para pontos de transbordo, visando o transporte terrestre, somente não constituirá interferência se realizado por linhas de dutos.

Na fase de disposição dos sedimentos, as alternativas de cava submersa no Canal de Piaçagüera, de lançamento em área oceânica e em cava confinada no Largo do Cubatão irão apresentar, em maior ou menor grau e com pouca relevância, esse tipo de interferência. No Dique do Canal C e Dique do Furadinho, onde poderá ser utilizado transporte terrestre, linhas de dutos e eventual transporte marítimo de curtas distâncias, e nas demais alternativas, não haveria qualquer interferência.

c) Geotecnia

Contempla os impactos de natureza negativa e advindos de adensamentos em fundações e recalques de aterros, rupturas de taludes escavados, rupturas de fundações, rupturas de corpos de aterros e escorregamentos em depósitos de sedimentos e materiais de jazidas.

Tais impactos foram considerados na fase de escavação em todas as alternativas, pelas alturas e características dos materiais dos taludes escavados. Nas alternativas de disposição fora da área da COSIPA, também foram considerados os possíveis impactos nas escavações dos materiais de empréstimo nas jazidas, e nos corpos dos aterros temporários e definitivos.

Na fase de disposição, o impacto provocado pelo adensamento dos sedimentos em áreas e cavas confinadas, e em cava submersa, bem como o da camada de cobertura quando aplicada, é de natureza positiva, não tendo sido, portanto, considerado. Com exceção da alternativa de disposição dos sedimentos em área oceânica – que não produz impactos de caráter geotécnico – as alternativas em cavas confinadas por diques e as demais deverão apresentar os impactos afeitos aos diques para confinamento e aos aterros para disposição temporária ou definitiva.

d) Aquíferos

O impacto das alternativas sobre as águas subterrâneas foi avaliado com relação aos aquíferos gravitacionais ou freáticos mais superficiais, e ao aquífero regional ou profundo, quanto à sua interceptação direta e contaminação.

Nas alternativas de cava submersa e de cavas confinadas, o aquífero freático será impactado diretamente apenas na fase de construção das mesmas, pela sua escavação, e não haverá qualquer tipo de interferência sobre o aquífero regional. Nas demais alternativas, a exploração de jazidas e a utilização de aterros temporários e definitivos poderá impactar indiretamente o aquífero freático, por alterar as condições de infiltração e drenagem das águas superficiais, e do fluxo subterrâneo. O

impacto também poderá ser direto, no caso de contaminações decorrentes de defeitos nas impermeabilizações e vazamentos ou despejos indevidos de efluentes.

e) Corpos d'água

A interferência negativa das alternativas analisadas sobre os corpos d'água – representados pelo Canal de Piaçagüera, estuário santista, oceano e cursos-d'água eventualmente existentes nas áreas das jazidas de materiais naturais de construção – irá ocorrer em razão de contaminações e turbidez provocadas por material em solução e suspensão. Para fins de avaliação compreende, também, a contaminação dos sedimentos depositados no fundo das cavas, como fonte de contaminação e turbidez da água por re-suspensão.

Em todas as alternativas, os impactos irão ocorrer na etapa de escavação. Nas alternativas em diques e cavas confinadas poderão ocorrer, também, na etapa de disposição, mas o maior impacto irá se verificar na cava submersa no Canal de Piaçagüera e no lançamento no quadrilátero oceânico. Nessa última alternativa, este parâmetro atinge maior magnitude pelos grandes volumes de sedimentos lançados.

f) Atmosfera

Os efeitos a serem provocados na atmosfera compreendem a produção de ruídos e odores, e a sua poluição por gases e material particulado. Irão se manifestar em todas as etapas construtivas, produzidos pelos equipamentos e veículos necessários aos trabalhos de escavação, transporte e disposição; pela exposição dos depósitos temporários e definitivos de sedimentos, e pelos processos industriais, tratamentos químicos e tratamentos biológicos. Só não se verificarão na etapa de transporte dos sedimentos quando utilizadas linhas de dutos a partir de dragas de sucção e recalque.

Os impactos de maior relevância deverão ocorrer nas cavas criadas pela mineração e nos aterros industriais Classe 1, pela emanção de gases e odores; e na incineração, incorporação dos sedimentos em processo industrial e co-processamento em fornos de cimento, pela liberação de grande volume de gases tóxicos. Também foram considerados; em menor grau e escala; os gases resultantes de tratamentos químicos e biológicos.

5.6.2.2. Meio Biótico

a) Avifauna

Esse parâmetro contempla os impactos causados sobre as populações de aves estabelecidas nas margens do Canal de Piaçagüera, Largo do Canéu e planícies de maré; de aves migratórias que freqüentam a região, em especial na área do Largo do Canéu, Dique do Furadinho e, em menor grau, o Largo do Cubatão, e de aves marinhas. Também foram consideradas as populações que habitam as áreas a serem exploradas como jazidas, para a construção de aterros temporários ou definitivos.

Esse impacto irá se manifestar na etapa de escavação, de forma pouco relevante, em todas as alternativas, e será nulo quando o transporte de sedimentos se der por linhas de dutos e via terrestre.

Também ocorrerá na etapa de disposição das alternativas em diques e cavas confinadas, e das que utilizam aterros temporários ou definitivos. De maior relevância, nessa etapa, será o impacto sobre as aves migratórias que visitam as áreas do Largo do Canéu, Dique do Furadinho e, eventualmente, o Largo do Cubatão.

b) Fauna aquática

Abrange a fauna aquática representada pelos organismos da coluna d'água e bentônicos, e os impactos causados sobre a sua biodiversidade, risco de toxicidade e bioacumulação e soterramento.

Esse impacto irá se manifestar, na etapa de escavação, em todas as alternativas. Na etapa de disposição, estará presente apenas nas alternativas de lançamento no quadrilátero oceânico, cavas confinadas por diques e cava submersa no Canal de Piaçagüera, onde atingirá maior magnitude.

c) Flora

Os impactos sobre a vegetação irão se manifestar na etapa de disposição dos sedimentos, na alternativa do Dique do Furadinho e naquelas que irão utilizar jazidas para a extração de materiais naturais de construção, nas quais será necessária a remoção da cobertura vegetal.

O impacto indireto das etapas de escavação e disposição de sedimentos sobre a vegetação de mangue que margeia o estuário – por restringir a formação de baixios e a evolução das planícies de maré – não foi considerado, dado a sua transitoriedade e pequena relevância.

5.6.2.3 Meio Sócio-Econômico

a) Pesca

O parâmetro pesca está relacionado ao desenvolvimento dessa atividade no Canal de Piaçagüera e Estuário Santista, para fins comerciais e de subsistência da parcela da comunidade local que dela depende. Inclui-se nesse item, também, a captura de caranguejos, siris e outros organismos.

Como a pesca é feita, de forma generalizada, em todo o estuário, considerou-se, para fins de comparação, que este parâmetro terá alguma relevância apenas no Largo do Cubatão e no Largo do Casqueiro.

b) Saúde pública

Como impacto sócio-econômico das alternativas sobre a saúde pública, foram consideradas, qualitativamente, as deseconomias geradas no âmbito da qualidade de vida e segurança da população.

As questões ligadas à qualidade de vida dizem respeito aos gastos sociais demandados pela toxicidade de gases produzidos, pela contaminação de aquíferos, a produção de ruídos, odores e acidentes, nas etapas de transporte e disposição. Tais deseconomias irão se manifestar em todas as alternativas que utilizam transporte por via terrestre, bem como jazidas de materiais naturais de construção e aterros temporários ou definitivos.

c) Vias públicas

Esse parâmetro contemplou as deseconomias geradas pelo intenso tráfego de veículos para o transporte, por via terrestre, de sedimentos contaminados e materiais naturais de construção, e são representadas pela necessidade de sinalizações horizontal e vertical, e a limpeza e conservação das vias públicas.

Foram considerados, também, os eventuais vazamentos de material contaminado e os acidentes com cargas, trazendo riscos à população e demandando medidas preventivas, emergenciais ou corretivas, de caráter ambiental.

d) Negociações com terceiros

Esse parâmetro contempla o ônus social advindo de novos estudos e projetos, e de negociações com terceiros e municípios, os quais gerariam atrasos nas obras de escavação da bacia de evolução e do Canal de Piaçagüera, impactando as atividades desenvolvidas no Pólo Industrial da COSIPA e a população que dela depende direta e indiretamente.

Impactos de grande relevância deverão ocorrer na aplicação de alternativas que necessitem de materiais de jazidas para a construção de diques e aterros provisórios e definitivos; do desenvolvimento de projetos, pesquisas e novas tecnologias, e de negociações para a sua implementação em áreas de propriedade de terceiros, municípios fora da Baixada Santista e, eventualmente, outros estados. Em contrapartida, as alternativas a serem implementadas dentro da área pertencente ou sob gestão da COSIPA não gerarão tais impactos.

5.6.2.4 Patrimônio Arqueológico e Paisagístico

Do ponto de vista arqueológico, a região abriga cinco sítios arqueológicos do tipo sambaqui, na área do Morro do Casqueirinho, os quais se encontram muito bem conservados em suas feições quando da época das escavações, apesar da intensa atividade industrial do pólo siderúrgico. Mesmo estando próximos ao Dique do Furadinho, à bacia de evolução do porto da COSIPA e ao Canal de Piaçagüera – onde serão realizadas as obras – não se prevê qualquer tipo de impacto direto destas sobre os sambaquis.

Alterações provocadas na paisagem não deverão ocorrer nas alternativas de cava submersa no canal e de disposição oceânica, mas incidirão sobre aquelas cuja disposição dos sedimentos será feita em cavas e áreas confinadas por diques, e na forma de aterros industriais. Também decorrerá da execução de cortes e formação de depósitos de materiais e bota-fora, nas atividades de exploração de jazidas.

As pontuações correspondentes a esses impactos foram tratadas na etapa de disposição dos sedimentos.

5.6.2.5 Navegação

Esse parâmetro considera a interferência de cada alternativa nas fases de escavação, transporte e disposição dos sedimentos, sobre o tráfego de navios no Canal de Piaçagüera e estuário santista.

A maior interferência irá ocorrer na fase de escavação, sendo considerada baixa na fase de transporte, em todas as alternativas.

Na etapa de disposição, foi considerada elevada a interferência da cava submersa no Canal de Piaçagüera; baixa nas alternativas de cavas confinadas e lançamento em área oceânica, e nula no Dique do Canal C, Dique do Furadinho e demais alternativas que utilizam processos, tratamentos e aterros.

5.6.2.6 Custos

Na etapa de escavação e transporte, os custos foram considerados baixos nas alternativas onde serão utilizadas dragas de sucção e recalque, dispondo-se o material em áreas ou cavas confinadas por diques.

Na alternativa do Dique do Furadinho – na qual uma das etapas será realizada com *clam shell* ecológico e transporte por caminhões, de custo elevado, e a outra por draga de sucção e recalque, de custo baixo – considerou-se os custos como médios, ponderando-se os dois métodos construtivos a serem utilizados.

Os custos correspondentes às fases de transporte e disposição dos sedimentos irão pesar, mais significativamente, nas alternativas que necessitam de transporte ferroviário ou rodoviário, e cuja disposição irá depender de obras geotécnicas, pesquisas tecnológicas, projetos específicos e licenciamentos. Nesses custos se incluem, também, os atrasos na implementação da escavação do canal, advindos dos prazos maiores demandados pelos condicionantes relacionados à disposição.

Nas alternativas em cavas confinadas por diques e na cava submersa no Canal de Piaçagüera, os custos de disposição restaram majorados pelos grandes volumes de escavação necessários à construção das cavas.

5.6.2.7 Tecnologia

Para as alternativas que utilizam processos industriais, tratamentos químicos ou biológicos, considera-se as tecnologias necessárias como indisponíveis no momento, em função dos grandes volumes de sedimentos a ser dispostos, de sua natureza lodosa e das altas concentrações de contaminantes. Tais condicionantes demandariam técnicas e escalas de processo e de tratamento não convencionais, e de resultados ainda não totalmente conhecidos.

As tecnologias utilizadas na escavação e transporte dos sedimentos, e sua disposição em cavas e aterros, já é plenamente dominada e consagrada, encontrando-se, portanto, disponível.

5.6.2.8 Capacitação

Da mesma forma que na avaliação do parâmetro Tecnologia, os grandes volumes de sedimentos exigiriam uma capacitação dos parques industriais municipal e estadual, para o seu processamento e tratamento, que não se encontram disponíveis no momento. O mesmo ocorre com as cavas criadas pela mineração e os aterros industriais Classe 1, não disponíveis na Baixada Santista e de número e capacidade limitados no Estado de São Paulo.

Como agravante de tais restrições, há que se considerar, ainda, a natureza dos sedimentos, sua contaminação, e a necessidade de grandes áreas para abrigar os depósitos provisórios e novos aterros industriais para a disposição dos sedimentos com ou sem tratamento.

Quanto à escavação e transporte dos sedimentos, bem como sua disposição em cavas submersas e áreas confinadas por diques, o mercado da construção civil se encontra plenamente capacitado para atender os grandes volumes a ser mobilizados. Nas alternativas de cavas e na de disposição oceânica, existem áreas disponíveis para comportar todo o volume de sedimentos.

No Dique do Canal C, a capacidade de disposição de sedimentos é menor em relação às outras alternativas, limitando sua utilização, o que pesou desfavoravelmente no parâmetro Capacitação dessa alternativa.

5.6.2.9 Reaplicação futura

Como reaplicação futura, entende-se que somente a alternativa de disposição em área oceânica poderia ser reutilizada, e as alternativas com cavas confinadas ou submersas o seriam em caráter apenas parcial, graças ao adensamento natural dos sedimentos depositados, o que aumentaria sua capacidade volumétrica. O Dique do Furadinho também possibilitaria replicações futuras parciais, em função de ampliações de área ou aumento da altura do depósito de sedimentos, onde possível sob o ponto de vista geotécnico.

Com relação às alternativas que envolvem processos industriais e outros tratamentos, considera-se que as restrições tecnológicas e a falta de capacitação – que já comprometem sua aplicação na atualidade – eliminariam qualquer possibilidade de reutilização, salvo em situações futuras, ainda não vislumbradas.

Também não seria possível a reutilização do Dique do Canal C, dado sua limitação volumétrica para a disposição de sedimentos.

5.6.3. Avaliação das Alternativas

As pontuações obtidas são apresentadas nas Tabelas 5.4 a 5.19 apresentadas ao final deste capítulo, onde estão indicados os graus atribuídos aos impactos ou interferências das alternativas sobre os parâmetros avaliados, nas etapas de escavação, transporte e disposição dos sedimentos. Também é apresentada, para cada alternativa, a sua pontuação total (\sum_{alt}).

Na Tabela 5.20, as alternativas se encontram ordenadas de forma crescente, segundo suas pontuações totais, e são apresentados os seus Fatores de Relação ($R = \sum_{alt} / (\sum_{alt.min})$) e Índices de

Desempenho ($Id = 1/R$), estes últimos permitindo a avaliação da importância relativa de cada alternativa quanto à sua viabilidade ambiental, operacional e econômica. A análise desses índices permitiu agrupar as alternativas em dois grupos perfeitamente identificáveis, conforme mostrado a seguir.

- **Grupo I: Id entre 1 e 0,6** – Alternativas que envolvem tecnologias simples e consagradas, disponíveis no mercado, quase todas localizadas exclusivamente dentro dos limites da área pertencente ou sob gestão da COSIPA.
- **Grupo II: Id entre 0,20 e 0,114** – Alternativas que envolvem tecnologias complexas, de custo elevado ou indisponíveis no mercado, localizadas fora dos limites da área pertencente ou sob gestão da COSIPA.

As alternativas do Grupo I se configuraram, portanto, como as menos impactantes e de implantação mais viável, cabendo as seguintes observações sobre cada uma delas:

a) Disposição de sedimentos não contaminados em área oceânica (Id = 1):

Considerada como padrão de referência para as demais alternativas, por se aplicar aos sedimentos não contaminados, sendo a menos impactante e, conseqüentemente, a mais vantajosa ($\Sigma_{alt.min}$). Apresenta interferência sobre os corpos d'água, pela turbidez provocada em decorrência do método de lançamento dos sedimentos, e impacto pouco relevante sobre a fauna aquática.

Por utilizar área oceânica, é a única alternativa do Grupo I que ultrapassa os limites da área sob responsabilidade da COSIPA.

b) Dique do Canal C (Id = 0,99)

Apresenta, como desvantagens, custo elevado na etapa de disposição dos sedimentos – pela necessidade de obras geotécnicas para a contenção dos sedimentos contaminados nela dispostos – e limitações quanto ao volume de armazenamento, o que impossibilita uma futura reutilização.

Do ponto de vista ambiental é pouco impactante, por utilizar área muito restrita e confinada, de propriedade da COSIPA e, portanto, de fácil controle e monitoramento. Como se trata de área de lançamento do principal e mais antigo canal de efluentes da siderúrgica, denominado Canal C encontra-se, já, totalmente degradada.

c) Dique do Furadinho (Id = 0,80)

Da mesma forma que no Dique do Canal C, essa alternativa apresenta custo mais elevado na etapa de disposição de sedimentos, pela necessidade de obras geotécnicas de contenção. Como admite duas possibilidades de escavação e transporte – clam shell ecológico com transporte por caminhões embarcados, ou dragagem por sucção e recalque – os custos dessas etapas foram considerados médios, para fins de comparação com as demais alternativas.

Trata-se, também, de antigo bota-fora de dragagem e depósito de resíduos contaminados tendo sofrido, já, os impactos ambientais inerentes a essas atividades. Como a área apresenta alguma recuperação da flora e da fauna, registrando-se, inclusive, a presença de aves migratórias, merecem destaque os efeitos a serem provocados no meio biótico, em especial sobre a avifauna, porém de caráter temporário e perfeitamente reversível.

d) Cava confinada no Largo do Casqueiro (Id = 0,78)

Essa alternativa é pouco impactante tendo como desvantagem, maior, a necessidade de obras de escavação da cava e construção de um dique no seu entorno, elevando os custos de disposição dos sedimentos. Os impactos ambientais mais importantes dizem respeito a essas obras.

Também ocorrerá impacto, embora pouco significativo, sobre as atividades da pesca.

e) Cava confinada no Largo do Cubatão (Id = 0,75)

Quanto ao custo e impacto das obras geotécnicas, assemelha-se à alternativa anterior.

Como desvantagens apresenta, ainda, os impactos causados sobre a hidrodinâmica do rio Cubatão, por se localizar na sua foz; sobre a avifauna, pela existência de bancos de areia com possibilidade de serem utilizados por aves migratórias, e sobre as atividades de pesca.

f) Cava confinada no Largo do Canéu (Id = 0,62)

Semelhante às alternativas anteriores – pela utilização de cava confinada por dique – apresenta custos elevados na etapa de disposição dos sedimentos, e os mesmos impactos relativos a essas obras geotécnicas.

Nessa alternativa, merece destaque o impacto a ser causado sobre a avifauna durante os trabalhos de construção da cava, do dique para confinamento, lançamento dos sedimentos e aplicação da cobertura – todos incluídos na etapa de disposição – devido à utilização da área por aves migratórias.

g) Cava submersa no Canal de Piaçagüera (Id = 0,60)

Por se situar no Canal de Piaçagüera, essa alternativa irá impactar, diretamente, a sua Hidrodinâmica, em todas as etapas construtivas. Irá promover, também, a dispersão de sedimentos no corpo d'água e impactos sobre a fauna aquática durante os trabalhos de escavação da cava, lançamento dos sedimentos e aplicação de cobertura, na etapa de disposição.

Também merece destaque sua interferência sobre a navegação nas etapas de escavação e disposição, e os elevados custos de disposição, considerando-se a necessidade de construção da cava e o seu aprofundamento abaixo da cota -12m, visando um futuro rebaixamento do canal de navegação por razões de calado.

5.7. CONCLUSÕES GERAIS

A avaliação das alternativas de escavação do Canal de Piaçagüera e disposição dos sedimentos contemplou todos os métodos construtivos atualmente disponíveis e tecnologias conhecidas, e foi realizada por método comparativo. Os parâmetros considerados foram analisados por meio de graus e pontuações qualitativos, ponderados em função da importância de cada parâmetro no contexto geral.

A análise comparativa realizada indicou, como mais interessantes do ponto de vista ambiental, operacional e econômico, as alternativas para 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.

Tomou-se como referência – para fins de análise por comparação – a alternativa de disposição de sedimentos não contaminados em área oceânica, tida como menos impactante e de menor custo.

Dentre as alternativas consideradas como viáveis, a COSIPA poderá optar pela utilização daquelas que se mostrarem mais interessantes quanto à capacidade de disposição de sedimentos, custos das diferentes etapas de construção e prazos de execução, desde que atendidas as medidas mitigadoras e compensatórias previstas para os impactos ambientais causados.

As alternativas que envolvem processos industriais e disposições fora da área da COSIPA se mostraram inviáveis pela utilização de tecnologias muito complexas ou mesmo indisponíveis, dado o volume de sedimentos a ser tratado; pela falta de capacitação das empresas de construção e indústrias quanto à disponibilidade de máquinas, equipamentos, áreas para disposição, instalações e insumos; necessidade de negociações com terceiros, outros municípios e estados, e pela criação de impactos inerentes ao transporte dos sedimentos contaminados e exploração de jazidas de materiais naturais de construção.

Somam-se, a essas desvantagens, as dificuldades e mesmo impossibilidade de monitoramento e controle adequados, pelo empreendedor, do transporte, tratamentos em larga escala e qualidade dos processos realizados pelas empresas encarregadas da disposição dos sedimentos contaminados.

Tabela 5.4 - Disposição de sedimentos não contaminados em Área Oceânica

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	1	1	25	1	56
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vias Públicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				1				12
Custos		5				5				1				11
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		1											1	
TOTAL													152	

Tabela 5.5 Cava Submersa no Canal de Piaçaguiera

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	1	1	25	50	105
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	25	1	32
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vias Públicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				25				36
Custos		5				5				10				20
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		10											10	
TOTAL													255	

Tabela 5.6 Dique do Canal C

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
	Negociações	1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				-				11
Custos		1				1				10				12
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				10				12
Reaplicação		25											25	
TOTAL													153	

Tabela 5.7 Dique do Furadinho

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	50	61
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
	Negociações	1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				5				10				20
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		10											10	
TOTAL													190	

Tabela 5.8 Cava Confinada no Largo do Cubatão

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	25	50	81
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	1	1	1	1	32
	Atmosfera	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Saúde Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vias Públicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Negociações	1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				1				12
Custos		1				1				10				12
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		10											10	
TOTAL													203	

Tabela 5.9 Cava Confinada no Largo do Casqueiro

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	25	50	81
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	1	1	1	1	32
	Atmosfera	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Saúde Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vias Públicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Negociações	1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				1				12
Custos		1				1				10				12
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		10											10	
TOTAL													195	

Tabela 5.10 Cava Confinada no Largo do Canéu

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	25	50	81
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	1	1	1	1	32
	Atmosfera	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	50	57
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vias Públicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Negociações	1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		1											1	
Navegação		10				1				1				12
Custos		1				1				10				12
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				1				3
Reaplicação		10											10	
TOTAL													244	

Tabela 5.11 Aterros Industriais Classe 1

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
Meio Biótico	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Sócio-economia	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	100	277
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
	Negociações	50											50	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				50				52
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.238	

Tabela 5.12 Cavas Criadas pela Mineração

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	100	277
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		50											50	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				1				3
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.138	

Tabela 5.13 Incorporação dos Sedimentos em Processo Industrial

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	50	57
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	50	100	258
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	100	277
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													951	

Tabela 5.14 Reuso do Material Dragado

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	100	277
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.338	

Tabela 5.15 Co-processamento em Fornos de Cimento

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Superf.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	100	277
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													827	

Tabela 5.16 Incineração

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Super.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	1	1	25	100	204
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													754	

Tabela 5.17 Tratamento Químico

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Super.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	50	50	175
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aquíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	50	227
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.313	

Tabela 5.18 Encapsulamento

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Super.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	50	50	175
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	1	1	110
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	50	227
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.240	

Tabela 5.19 Bioremediação

Parâmetros		Escavação				Transporte				Disposição				Total
		Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	Duração	Reversib.	Magnitude	Relev/sign	
Meio Físico	Hidrologia e Dinâmica Super.	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	50	50	175
	Hidrodinâmica	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	8
	Geotecnia	1	1	1	1	-	-	-	-	25	50	25	50	154
	Aqüíferos	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	25	50	150
	Corpos d'água	1	1	25	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28
Meio Biótico	Atmosfera	1	1	1	1	1	1	50	50	1	1	25	50	183
	Avifauna	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	8
	Fauna aquática	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Sócio-economia	Flora	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4
	Pesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Saúde Pública	-	-	-	-	1	1	25	50	25	50	25	50	227
	Vias Públicas	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	4
Negociações		1											1	
Patr. Arqueológico e Paisagístico		-	-	-	-	-	-	-	-	25	50	1	1	77
Abrangência		25											25	
Navegação		10				1				-				11
Custos		5				10				10				25
Tecnologia		1				1				100				102
Capacitação		1				1				100				102
Reaplicação		25											25	
TOTAL													1.313	

Tabela 5.20 Avaliação das Alternativas

Alternativa	Pontuação Total (Σalt)	Fator de Relação ($R = \Sigma alt / \Sigma alt.min$)	Índice de Desempenho ($Id = 1/R$)
1. Disposição de sedimentos não contaminados em área oceânica	152	1	1
2. Dique do Canal C	153	1,01	0,99
3. Dique do Furadinho	190	1,25	0,80
4. Cava confinada no Largo do Casqueiro	195	1,28	0,78
5. Cava confinada no Largo do Cubatão	203	1,34	0,75
6. Cava confinada no Largo do Canéu	244	1,61	0,62
7. Cava submersa no Canal de Piaçagüera	255	1,68	0,60
8. Incineração	754	4,96	0,20
9. Co-processamento em fornos de cimento	827	5,44	0,18
10. Incorporação dos sedimentos em proc. industrial	951	6,26	0,16
11. Cavas criadas pela Mineração	1.138	7,49	0,13
12. Aterros industriais classe 1	1.238	8,14	0,123
13. Encapsulamento	1.240	8,16	0,122
14. Tratamento químico	1.313	8,64	0,116
15. Bioremediação	1.313	8,64	0,116
16. Reuso do material dragado	1.338	8,80	0,114