

ESTUDO DE DRAGAGEM DE REMEDIAÇÃO MEDIANTE A UTILIZAÇÃO DE TUBOS GEOTÊXTIL E COMPARAÇÃO DOS IMPACTOS COM DIFERENTES METODOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO - ESTUDO DE CASO: DRAGAGEM MARÍTIMA REALIZADA NA REGIÃO DA ILHA DA MADEIRA, BAÍA DE SEPETIBA - ITAGUAÍ-RJ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.VII-002>

Rafael Nunes Lins do Nascimento (*), Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho, Jean Marcel de Faria Novo

* Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

mesquitauff@yahoo.com.br

RESUMO

A pesquisa analisou comparativamente quatro alternativas de disposição de material dragado contaminado: *Contained Aquatic Disposal* (CAD), Aterro Licenciado, *Confined Disposal Facility* (CDF) e disposição em tubos geotêxtil, tendo como base o estudo de caso das dragagens marítimas realizadas nas obras para a construção dos Estaleiros e Base Naval, no município de Itaguaí – RJ. Atividades portuárias e de transporte marítimo demandam regularmente a realização de dragagem, seja para garantir a profundidade de calado para a navegação, seja para permitir a realização de obras de infraestrutura portuária. Como resultado da dragagem, sedimentos, por muitas vezes com presença de contaminantes, precisam ser tratados e destinados de forma adequada e de acordo com a legislação ambiental vigente. A depender das características do sedimento dragado, do tipo e níveis de contaminação desse material, do seu volume, bem como, das condições existentes na região, diversas soluções técnicas podem ser utilizadas para o tratamento e disposição desse material. A análise se deu sob o prisma dos impactos ambientais inerentes à cada solução, avaliadas segundo metodologia baseada em matriz de impactos. Os resultados encontrados no estudo confirmaram que a alternativa com o uso de tubos geotêxtil, utilizado no estudo de caso, alcançou o melhor resultado dentre as quatro soluções avaliadas, quando comparado o número de impactos ambientais identificados com alguma relevância e sua classificação segundo o critério de magnitude. A solução com o uso de tubos geotêxtil apresentou menor número de impactos ambientais, assim como menor quantidade de impactos de magnitude alta, predominando os impactos de magnitude baixa.

PALAVRAS-CHAVE: Dragagem; disposição de material dragado; sedimentos contaminados; tubo geotêxtil, Ilha da Madeira - RJ.

ABSTRACT

The research comparatively analyzed four alternatives for the disposal of contaminated dredged material: *Contained Aquatic Disposal* (CAD), Licensed Landfill, *Confined Disposal Facility* (CDF), and disposal in geotextile tubes. The study was based on the case of maritime dredging carried out for the construction of Shipyards and a Naval Base in the municipality of Itaguaí – RJ. Port activities and maritime transportation regularly require dredging, either to ensure the necessary draft depth for navigation or to allow the execution of port infrastructure projects. As a result of dredging, sediments, often containing contaminants, must be properly treated and disposed of in accordance with current environmental regulations. Depending on the characteristics of the dredged sediment, the type and levels of contamination, its volume, and the existing conditions in the region, various technical solutions can be applied for the treatment and disposal of this material. The analysis was conducted from the perspective of the environmental impacts inherent to each solution, evaluated using a methodology based on an impact matrix. The study results confirmed that the alternative using geotextile tubes, as applied in the case study, achieved the best outcome among the four solutions evaluated, considering the number of identified environmental impacts of some relevance and their classification according to the magnitude criterion. The geotextile tube solution presented the lowest number of environmental impacts, as well as the lowest number of high-magnitude impacts, with low-magnitude impacts being predominant.

KEY WORDS: Dredging; dredged material disposal; contaminated sediments; geotextile tube; Ilha da Madeira - RJ.

INTRODUÇÃO

A sociedade depende das relações de comércio, e o ambiente marinho ocupa um lugar importante nessas transações. Estima-se que 80% das mercadorias comercializadas em escala global possuem ao menos um componente transportado por navio (UNCTAD, 2015). No Brasil, no ano de 2020, 88,9% das exportações realizadas pelo país foram por via marítima. Quando utilizado o critério de toneladas exportadas, esse percentual passa para 98,6% (ANTAQ, 2021).

Nesse contexto de intensificação das transações comerciais marítimas, bem como, da modernização dos navios, portos e hidrovias precisam se adaptar cada vez mais rápido para se manterem competitivos e atrativos para o comércio marítimo (Menegazzo & Petterini, 2018). A profundidade nos canais de navegação e nos portos é um dos pontos cruciais para a operação de grandes navios. As limitações nos acessos aquaviários aumentam os custos de frete e logística e impedem a participação de portos e hidrovias obsoletos nas rotas dos grandes navios modernos, com preços mais competitivos no transporte global (Menegazzo & Petterini, 2018). Na busca por melhorias no setor aquaviário, novos investimentos têm sido realizados visando à melhoria da eficiência logística dos portos no país, incluindo obras de dragagem de aprofundamento, dragagem de recuperação e melhoramento das vias de acesso existentes (Castro & Almeida, 2012).

O serviço de dragagem consiste na remoção, transporte e disposição de solo, rocha decomposta ou desmontada submersos em qualquer profundidade por meio de vários tipos de equipamentos em mares, estuários e rios (Alfredini & Arasaki, 2009). A atividade de dragagem produz uma grande quantidade de sedimentos que precisam ser gerenciados e dispostos adequadamente, o que torna esta, uma das maiores preocupações no gerenciamento das zonas costeiras ao redor do mundo, visto que os sedimentos podem apresentar diferentes níveis de contaminação (Rosa & Freitas, 2021).

A dragagem é uma atividade que demanda uma eficiente gestão ambiental do sedimento dragado (Castro & Almeida, 2012). Na etapa referente à destinação do material dragado deve-se analisar criteriosamente as alternativas existentes a fim de se escolher aquelas que condizem com os critérios socioeconômicos e ambientais de cada país ou região, conforme com as características do material dragado, do seu volume e das condições existentes (Goes Filho, 2004).

Estudo das alternativas de disposição do material dragado passa obrigatoriamente por sua caracterização, inclusive, quanto à presença de contaminantes, não sendo exceção encontrá-los durante a fase planejamento da atividade. Como exemplo, os sedimentos obtidos por dragagem realizadas em áreas portuárias apresentam quase sempre algum nível de contaminação decorrentes da ação antropogênica ou pela ausência de proteção ambiental (Alvarez-Guerra et al., 2007).

As principais alternativas para disposição do material dragado são a disposição em corpos hídricos abertos como oceanos, rios, estuários e lagos, quando o material é limpo ou moderadamente contaminado; a disposição em locais confinados, sejam eles em corpos hídricos ou em terra, em áreas preparadas para seu confinamento e isolamento, sendo indicado para a disposição de material contaminado; e o uso benéfico do sedimento dragado, ainda que contaminado, que tem por premissa a visão do material dragado como um recurso natural valioso, sendo essa uma perspectiva moderna, que deixa de enxergar o material dragado como rejeito (Goes Filho, 2004; Almeida, 2004; Castiglia, 2006; Souza, 2018).

Nesse contexto, a solução para o confinamento e disposição do material dragado em sistema de geotêxtil fechado (SGF), como no caso do tubo geotêxtil, se apresenta com uma alternativa para os projetos de dragagem quando há a presença de sedimentos contaminados, apesar de ainda pouco utilizada no Brasil em projetos de dragagem (Souza, 2018). Além de ser uma solução para o confinamento do material dragado, o uso de tubo geotêxtil também pode se caracterizar como uma alternativa para o uso benéfico desse material (Monteiro, 2010).

Além das vantagens de caráter técnico, operacional e de custo, a solução para o confinamento e disposição de sedimentos contaminados de dragagem em tubos geotêxtil apresentariam menor impacto ambiental quando comparado com outras metodologias. Contudo, para que isso possa ser evidenciado, estudos específicos devem ser conduzidos com o objetivo de avaliar comparativamente as características de outras soluções de engenharia, sob a ótica dos impactos ambientais relacionados à fase de disposição do material contaminado.

OBJETIVO

Analisar comparativamente quatro soluções para a disposição do material dragado contaminado: *Contained Aquatic Disposal* (CAD), Aterro Licenciado, *Confined Disposal Facility* (CDF) e disposição em tubos geotêxtil. Avaliar as alternativas sob a ótica dos impactos ambientais, utilizando como base de estudo a solução de confinamento dos sedimentos em tubos geotêxtil, realizada na dragagem de implantação para as obras de construção dos Estaleiros e Base Naval (EBN) na Ilha da Madeira, município de Itaguaí – RJ.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização da análise comparativa das alternativas de disposição de material dragado contaminado, proposta no presente estudo, baseou-se na matriz de impactos ambientais de Leopold (1971), com adaptações que possibilitaram sua aplicação. A metodologia de avaliação seguiu as seguintes etapas:

- Descrição da metodologia executiva de quatro alternativas de disposição;
- Identificação das ações geradoras de impactos ambientais de cada alternativa, denominadas Fatores Geradores de Impacto (FGI);
- Identificação de impactos sobre os diversos fatores ambientais afetados pela disposição do material dragado contaminado;
- Valoração dos impactos identificados com base em critérios de avaliação elaborados a partir do procedimento de avaliação de impactos ambientais proposto por Leopold et al. (1971) e de acordo as Resoluções e Diretrizes que tratam dos estudos de impactos ambientais no país;
- A partir dos resultados da identificação e da valoração dos impactos ambientais, classificar as alternativas mais ou menos adequadas para o estudo de caso analisado.

ESTUDO DE CASO

O local de implantação do estaleiro e base naval (EBN) está localizado na Ilha da Madeira, município de Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro. Através do resultado da extensa investigação geotécnica preliminar, bem como da caracterização química das amostras coletadas, foram identificados 14 focos de sedimentos com presença de substâncias químicas acima dos limites estabelecidos por norma (Zinco, Níquel, Chumbo e Cádmio). O volume total estimado de solo contaminado a ser escavado e devidamente gerenciado foi de 298.000 m³. Para a remoção desse volume, foram realizadas dragagens remediação, ou dragagem ambiental, cujo objetivo consiste em “remover uma camada superficial de sedimento contaminado por compostos orgânicos ou inorgânicos, sem que haja a ressuspensão destes contaminantes” (Teixeira & Dias, 2016).

O equipamento de dragagem foi definido diante das características físicas do solo nas áreas dos bolsões de contaminação (argila e silte), da batimetria do local e da necessidade de controle de dispersão de sedimentos contaminados na coluna d'água durante a fase de escavação da dragagem. Foi utilizada uma Draga de Sucção e Recalque (*Cutter Suction Dredger* ou CSD) de pequeno porte, a fim de que fossem alcançados os pontos de pouca profundidade. O equipamento foi dotado de uma cabeça de corte específica para o controle da dispersão de sedimentos durante o processo de desagregação do solo e sucção pelo equipamento. Uma linha de tubulações flutuante (linha de recalque) foi ligada ao sistema de recalque da draga CSD que bombeava a mistura solo/água do material dragado para terra, onde era então direcionado para os pontos de tratamento e de disposição final do material contaminado (Figura 1).

A metodologia definida para a disposição do material dragado contaminado consistiu no tratamento químico (floculação e decantação) e na disposição confinada dos sedimentos em tubos geotêxtil em tecido polimérico (tubo geotêxtil) em uma bacia impermeabilizada especialmente preparada, dentro da área de construção do EBN. No estudo de caso foi utilizada a tecnologia Geotube®, fornecida pela empresa americana TenCate. Nesse sistema, o material (mistura água/solo) após bombeado pelo sistema de recalque da draga, passa pelo processo químico em uma central tratamento, onde é posteriormente bombeado para os tubos geotêxtil.



Figura 1– Fotografia aérea da draga Cutter Suction Dredger (CSD) durante a dragagem de remediação
Fonte: Relatório de Monitoramento da Dragagem - EBN Itaguaí – RJ (2011).

Os tubos geotêxtil são fabricados em polipropileno de alta resistência que exerce simultaneamente as funções de contenção (retenção) dos sedimentos contaminados e de drenagem da água livre presente sem a presença de contaminantes, fruto do processo de filtração dos contaminantes através do geotêxtil (Monteiro, 2010). O excesso de água decorrente do processo de dragagem é drenado através dos pequenos poros do geotêxtil, resultando numa desidratação efetiva e uma redução do volume de água. Esta redução de volume permite que cada unidade possa ser preenchida por bombeamentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela fração sólida existente nos sedimentos dragados (Monteiro, 2010).

Os tubos geotêxtil foram acomodados em uma bacia, denominada como Unidade de Decantação de Contaminados (UDC), especialmente projetada para a o recebimento das bolsas e para a condução da água drenada pelos tubos. Após a conclusão dos ciclos de enchimento e de consolidação dos sólidos contidos nos tubos de geotêxtil, as bolsas foram cobertas com material controlado, e a área foi disponibilizada para a utilização pelo EBN. Os resultados do monitoramento dos efluentes confirmaram a eficiência na retenção dos contaminantes presentes no sedimento dragado.

Alternativas de Disposição Avaliadas

Além da solução de disposição em tubos geotêxtil utilizada no estudo de caso, outras três alternativas de disposição de material dragado foram avaliadas no estudo, e foram definidas com base nas características da dragagem ambiental realizada e nas condições existentes no local.

A primeira alternativa definida para a análise foi o confinamento do material dragado contaminado em cavas subaquática em alto mar (CAD – *Contained Aquatic Disposal*), e posterior capeamento do material com solo limpo. Em virtude do volume de material contaminado (aproximadamente 300.000 m³), define-se que o CAD será construído através de uma dragagem de aprofundamento complementar para delimitação da cava para disposição.

Quanto à operação de dragagem de remediação, assim como no estudo de caso, a draga de sucção e recalque bombeia a mistura solo/água por uma rede de recalque flutuante, contudo dessa vez, uma barça recebe o volume dragado e o transporta para o ponto de lançamento no CAD. Após o descarregamento do material, a barça retorna para um novo ciclo de dragagem de contaminado e transporte para o lançamento. Nesse caso, o material dragado não passa por nenhum pré-tratamento, sendo lançado nas condições em que foi escavado. Por fim, define-se que o capeamento deve ser realizado com o próprio material escavado para a construção do CAD. As condições de correntes devem ser analisadas nesse caso, a fim de se verificar a necessidade ou não do uso de cascalho ou pedras para o reforço do capeamento para prevenção do carreamento da cobertura e do material contaminado confinado (Almeida, 2004).

A segunda alternativa avaliada é a disposição do material contaminado em um aterro licenciado, fora da Ilha da Madeira. Em virtude do elevado teor de água presente em um material dragado, mais especificamente, quando obtido por uma draga de sucção e recalque, em que o solo é desagregado e bombeado por via hidráulica, faz-se necessária a redução do teor de água no material antes de ser disposto em um aterro (USACE, 2015). Definiu-se o processo de desidratação em diques provisórios, construídos em local próximo à área do EBN.

Em virtude dos níveis de contaminação do sedimento, o dique provisório deve ser provido de camada impermeabilizante e de sistema para captação e tratamento do efluente produzido no dique (Almeida, 2004). Assim como no estudo de caso, a draga de sucção e recalque bombeia o material escavado por uma linha de tubulação flutuante, que nesse caso, é ligada a uma rede fixa em terra para conduzir a mistura solo/água para o dique provisório, onde ali, o material dragado fica depositado. Após o lançamento, a parcela de sólidos se deposita no fundo do dique, separando-se da parcela de água que acaba por ser captada para posterior tratamento, e naturalmente, evapora. A operação de desidratação pode lançar mão de equipamentos para auxiliar na mistura e no espalhamento dos sedimentos depositados (USACE, 2015). Nessa alternativa, ao atingir o teor de sólidos necessário, o sedimento é então escavado, carregado e transportado por caminhões de grande capacidade para o aterro licenciado fora da Ilha da Madeira. Tomando como base o volume de material dragado contaminado (300 mil m³), seriam necessárias 10.000 viagens de caminhões com capacidade de 30m³.

A terceira alternativa avaliada é a disposição confinada do material contaminado em *Confined Disposal Facility* (CDF) em terra, acima do nível água. A draga de sucção e recalque que realiza a dragagem do contaminado, bombeia o material por uma linha de tubulação flutuante, ligada a uma rede fixa a ser construída em terra para conduzir a mistura solo/água para o CDF.

Foi definido para essa solução a construção de um CDF do tipo dique, a fim de confinar lateralmente o material, e ao final dos processos de enchimento da estrutura e de consolidação do material depositados, realizar a cobertura do local com material limpo. Em virtude da presença de contaminantes no sedimento, o CDF deve ser provido de uma camada impermeabilizante a fim impedir a infiltração da água contida com as águas subterrâneas do solo (USACE, 2015).

A operação do CDF pode contar com equipamentos de terraplenagem para espalhamento do material e abertura de trincheira, a fim de auxiliar no processo de desidratação e consolidação dos sedimentos. Ao final, o CDF deve ser coberto com material limpo para o confinamento definitivo do sedimento depositado.

Impactos ambientais e Critério de Avaliação

Descritas as metodologias executivas das alternativas avaliadas, o estudo identificou as ações a serem desenvolvidas para a disposição do material dragado contaminado de cada alternativa e identificou os prováveis impactos no meio ambiente gerados por cada ação.

Os impactos ambientais gerados por cada solução foram classificados segundo as fases da atividade: planejamento, execução e pós-execução, e classificados conforme o meio em que o impacto ambiental se manifesta: físico (qualidade da água, qualidade do solo, qualidade do ar.); biótico (flora e fauna) e social (atividade econômica, emprego e renda, infraestrutura, tráfego).

Os critérios de avaliação dos impactos ambientais identificados no estudo foram definidos com base no procedimento de avaliação de impactos ambientais proposto por Leopold et al (1971), e de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 001/1986 e pela Diretriz do INEA DZ-041.R-13. Foram definidos os critérios de reversibilidade, abrangência, relevância e magnitude, tendo sido atribuídos à cada critério pesos correspondentes à classificação de cada impacto.

Quanto à reversibilidade, os impactos foram classificados como reversível (1) ou irreversível (3). Quanto à abrangência, os impactos foram classificados como abrangência pontual (1), local (3) ou regional (5). Quanto ao critério de relevância, que corresponde ao grau de importância de um impacto sobre o fator ambiental afetado, estando diretamente relacionada à quantificação da perda da qualidade ambiental, social ou econômica causada por interferência das atividades no local, os impactos foram classificados como irrelevante (0), moderadamente relevante (1), relevante (3) ou muito relevante (5).

O último critério, a magnitude, é o resultado do produto dos três primeiros, sendo este o parâmetro determinante para a análise comparativa das quatro alternativas de disposição do material dragado aplicadas ao estudo de caso. A magnitude, que reflete o grau de alteração da qualidade ambiental do meio que está sendo objeto da avaliação, o impacto foi classificado como magnitude desprezível (valor igual a 0), magnitude baixa (valores iguais a 1 ou 3), magnitude moderada (valores iguais a 5, 9 ou 15) ou magnitude alta (valores iguais a 25, 27, 45 ou 75).

RESULTADOS

Após a descrição das metodologias executivas das quatro alternativas de disposição de material contaminado: *Contained Aquatic Disposal* (CAD), Aterro Licenciado, *Confined Disposal Facility* (CDF) e disposição em Tubos Geotêxtil, e da descrição dos critérios de valoração, o estudo apresenta os impactos ambientais identificados, sua

classificação segundo a fase e ao meio em que ocorre, bem como, o resultado da valoração desses impactos segundo os critérios de valoração definidos para a análise comparativa: Reversibilidade (REV), Abrangência (ABR), Relevância (REL) e Magnitude (MAG). Os resultados estão descritos nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1. Valoração dos impactos ambientais da disposição em *Contained Aquatic Disposal* (CAD).

Fonte: USACE (2015); Almeida (2004); Souza (2018); Monteiro (2010); Leopold et al (1971), Rosa & Freitas (2021), Castiglia (2006), adaptado pelo autor.

<i>Contained Aquatic Disposal</i> (CAD)						
Fase	Fatores Geradores de Impactos (FGI)	Impacto	REV	ABR	REL	MAG
Planejamento	• Esclarecimento sobre a forma e o local de disposição do sedimento contaminado; • Licenciamento de área externa ao EBN para recebimento do sedimento dragado.	Manifestação contrária à solução por representantes da sociedade civil local. (Lançamento no mar do material contaminado).	1	3	5	15
		Dificuldade e/ou atraso na aprovação do projeto junto aos Órgãos Fiscalizadores	1	5	5	25
Execução	• Dragagem adicional para aprofundamento da cava subaquática: construção do CAD; • Transporte por barcaça ou batelão para lançamento do sedimento dragado no mar (CAD). • Lançamento do sedimento dragado contaminado no CAD; • Confinamento com o capeamento do CAD com solo não contaminado;	Ressuspensão de sedimentos durante a dragagem para construção do CAD.	3	3	3	27
		Dispersão de sedimentos contaminados no mar.	3	3	5	45
		Alteração dos parâmetros de qualidade da água.	1	3	5	15
		Alteração na morfologia do leito marinho na área do CAD.	3	3	1	9
		Emissão de GEE pelos equipamentos de transporte (barcaças/rebocador para lançamento no CAD)	1	1	3	3
		Impacto nas populações pelágicas pelos contaminantes dispersos na coluna água.	1	3	5	15
		Impacto nas populações bentônicas afetadas pela dragagem e pelos sedimentos lançados.	3	3	5	45
		Bioacumulação a transferência trófica.	3	5	5	75
		Restrição da atividade pesqueira.	1	3	5	15
		Restrição da navegação durante as operações de dragagem e de lançamento.	1	3	3	9
		Impactos decorrentes de nova dragagem para obtenção de material limpo para o capeamento.	3	3	5	45
Pós	• Delimitação de área em virtude da disposição do material dragado com contaminantes	Limitação da área disponível para futuras dragagens de aprofundamento.	3	1	1	3



Tabela 2. Valoração dos impactos ambientais da disposição em Aterro Licenciado.

Fonte: Rosa & Freitas (2021); Souza (2018); USACE (2015); Monteiro (2010); Castiglia (2006); Almeida (2004); Leopold et al (1971), adaptado pelo autor.

Aterro Licenciado						
Fase	Fatores Geradores de Impactos (FGI)	Impacto	REV	ABR	REL	MAG
Planej.	• Esclarecimento sobre a forma e o local de disposição do sedimento contaminado.	Manifestação contrária à solução por representantes da sociedade civil local.	1	3	5	15
	• Licenciamento de área externa ao EBN para recebimento do sedimento dragado.	Dificuldade e/ou atraso na aprovação do projeto junto aos Órgãos Fiscalizadores.	1	5	5	25
Execução	• Construção da área para realização do pré-tratamento do sedimento dragado para redução do volume (desidratação);	Impactos decorrentes da mineração para exploração de material granular e/ou de impermeabilização para a construção da instalação de pré-tratamento.	3	3	5	45
		Degradação de área de aterro licenciado em detrimento de outras utilizações.	3	3	5	45
	• Bombeamento do sedimento dragado por rede de tubulação flutuante e fixa para área de pré-tratamento (desidratação);	Vazamento e dispersão de sedimentos no corpo hídrico ou sobre o solo durante o bombeamento do material dragado.	1	1	3	3
		Carreamento e/ou lixiviação de sedimentos, vazamento do efluente contaminado gerado ao longo da operação de lançamento na área de pré-tratamento.	3	1	5	15
	• Geração de efluente durante o processo de desidratação do sedimento dragado para redução do volume (desidratação);	Exposição da fauna e da flora presente no corpo hídrico receptor de efluente contaminado.	3	3	5	45
		Afugentamento da fauna fora da área do EBN.	1	3	3	9
	• Carregamento e transporte viário por caminhões do material desidratado para aterro licenciado;	Emissão de GEE pelos equipamentos de terraplenagem e de transporte (Espalhamento do material e para o transporte para aterro).	1	5	3	15
		Pressão no Sistema viário.	1	5	5	25
	• Disposição do material transportado em aterro licenciado;	Potencial ocorrência de contaminação do solo/águas subterrâneas na área de disposição.	3	3	1	9
		Incômodos à vizinhança devido à construção da local de disposição final de do transporte do material fora da área do EBN.	1	3	5	15

	Desmobilização da estrutura construída para a realização do pré-tratamento.	Geração de resíduo para bota-fora face a desmobilização da instalação	3	1	3	9
Pós	Delimitação de área em virtude da disposição do material dragado com contaminantes	Limitação da ocupação e do uso do solo.	3	1	3	9

Tabela 3. Resultado da valoração dos impactos ambientais da disposição em *Confined Disposal Facility* (CDF).
Fonte: Rosa & Freitas (2021); Souza (2018); USACE (2015); Monteiro (2010); Castiglia (2006); Almeida (2004); Leopold et al (1971), adaptado pelo autor.

Confined Disposal Facility (CDF)						
Fase	Fatores Geradores de Impactos (FGI)	Impacto	REV	ABR	REL	MAG
Planej.	- Esclarecimento sobre a forma e o local de disposição do sedimento contaminado. - Licenciamento de área externa ao EBN para recebimento do sedimento dragado.	Manifestação contrária à solução por representantes da sociedade civil local.	1	3	5	15
		Dificuldade e/ou atraso na aprovação do projeto junto aos Órgãos Fiscalizadores.	1	5	5	25
Execução	Construção de CDF (dique) em área externa ao EBN.	Impactos decorrentes da mineração para exploração de material granular e/ou de impermeabilização para a construção do CDF.	3	3	5	45
		Degradação de área externa ao EBN para construção do CDF (necessidade de uma grande área para o recebimento do volume água/solo do material dragado).	3	3	5	45
	Bombeamento do material dragado por rede de tubulação flutuante e fixa para o CDF.	Vazamento e dispersão de sedimentos no corpo hídrico ou sobre o solo durante o bombeamento do material dragado.	1	1	3	3
		Carreamento e/ou lixiviação de sedimentos, vazamento do efluente contaminado gerado ao longo da operação de lançamento do material no CDF.	3	3	5	45
		Exposição da fauna e da flora presente no corpo hídrico receptor de efluente contaminado.	3	3	5	45
	Operação para distribuição do sedimento dentro do	Afugentamento da fauna fora da área do EBN.	1	3	3	9
		Emissão de GEE pelos equipamentos de terraplenagem (espalhamento e cobertura do	1	3	3	9



	CDF;	CDF).				
		Pressão no Sistema viário.	1	3	3	9
		Potencial ocorrência de contaminação do solo/águas subterrâneas na área de disposição.	3	3	1	9
	• Disposição do material dragado contaminado em CDF.	Incômodos à vizinhança devido à construção da local de disposição final de do transporte do material fora da área do EBN.	1	3	5	15
	• Cobertura do CDF para conclusão do confinamento;	Geração de resíduo para bota-fora face a desmobilização da instalação.	1	1	0	0
Pós	• Delimitação de área em virtude da disposição do material dragado com contaminantes.	Limitação da ocupação e do uso do solo.	3	1	3	9

Tabela 4. Resultado da valoração dos impactos ambientais da disposição em Tubos Geotêxtil.

Fonte: Rosa & Freitas (2021); Souza (2018); USACE (2015); Monteiro (2010); Castiglia (2006); Almeida (2004); Leopold et al (1971), adaptado pelo autor.

Tubos Geotêxtil						
Fase		Impacto	REV	ABR	REL	MAG
Planej.	• Esclarecimento sobre a forma e o local de disposição do sedimento contaminado;	Manifestação contrária à solução por representantes da sociedade civil local.	1	3	3	9
	• Licenciamento ambiental com a premissa de disposição dentro da área do EBN.	Dificuldade e/ou atraso na aprovação do projeto junto aos Órgãos Fiscalizadores.	1	5	1	5
Execução	• Construção de Unidade de Decantação de Contaminados (UDC);	Impactos decorrentes da mineração para exploração de material granular e/ou de impermeabilização para a construção da UDC.	3	3	3	27
		Degradação de área externa ao EBN para construção da UDC.	1	1	0	0
	• Bombeamento do material dragado por	Vazamento e dispersão de sedimentos no corpo hídrico ou sobre o solo durante o bombeamento do material dragado.	1	1	3	3

	rede de tubulação flutuante e fixa para central de tratamento;	Carreamento e/ou lixiviação de sedimentos, vazamento do efluente contaminado gerado ao longo da operação de enchimento dos tubos geotêxtil.	3	1	1	3
	• Confinamento do material dragado contaminado nos tubos geotêxtil;	Exposição da fauna e da flora presente no corpo hídrico receptor de efluente contaminado.	3	1	1	3
		Afugentamento da fauna.	1	1	3	3
	• Geração de efluente após durante a drenagem dos tubos geotêxtil;	Emissão de GEE pelos equipamentos de terraplenagem para construção da UDC e cobertura final dos tubos geotêxtil.	1	1	3	3
		Pressão no Sistema viário.	1	3	3	9
	• Cobertura da UDC para recomposição da área	Potencial ocorrência de contaminação do solo/águas subterrâneas na área de disposição	3	1	1	3
		Incômodos à vizinhança devido à construção da local de disposição final de do transporte do material fora da área do EBN.	1	1	0	0
		Geração de resíduo para bota-fora face a desmobilização da instalação	1	1	0	0
Pós	• Delimitação de área em virtude da disposição dos tubos geotêxtil.	Limitação da ocupação e do uso do solo (limitação técnica para o uso de fundações profundas para a construção)	3	1	1	3
	• Aproveitamento da área de disposição dos tubos geotêxtil (UDC) para o EBN.	Uso benéfico do material dragado na elevação da cota de terreno e disponibilização de área para construção de instalações previstas para o EBN.	3	1	5	(15)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados alcançados pelas quatro alternativas de disposição do material dragado analisadas, é possível identificar que a solução de disposição em unidades de tubo geotêxtil apresentou um menor número de impactos ambientais com algum nível de relevância (onze), comparado com as demais soluções. As alternativas de disposição em *Contained Aquatic Disposal* (CAD) e em Aterro Sanitário apresentaram 14 (quatorze) impactos cada, enquanto a solução de disposição em *Confined Disposal Facility* (CDF) apresentou 13 impactos (Figura 2).

Quanto à classificação dos impactos segundo a fase de execução, observa-se que as quatro soluções estudadas apresentam o mesmo número de impactos identificados pelo estudo nas fases de “planejamento” e de “Pós-execução”, dois e um, respectivamente, sendo que a variação ocorre na fase de execução. Isso denota que os impactos de planejamento identificados (manifestação da sociedade civil, e dificuldade na autorização pelos órgãos fiscalizadores), bem como, o impacto pós-execução (limitação do uso da área de disposição) são comuns às quatro alternativas estudadas, e possivelmente, inerentes a qualquer solução de disposição do material dragado (Figura 3).

Figura 2. Comparativo do número de impactos identificados com relevância
Fonte: Elaborado pelo autor.

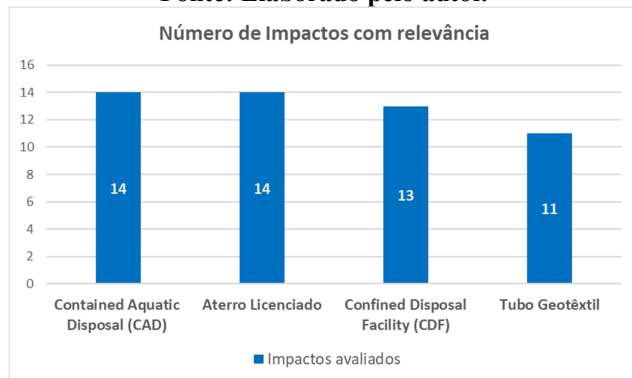
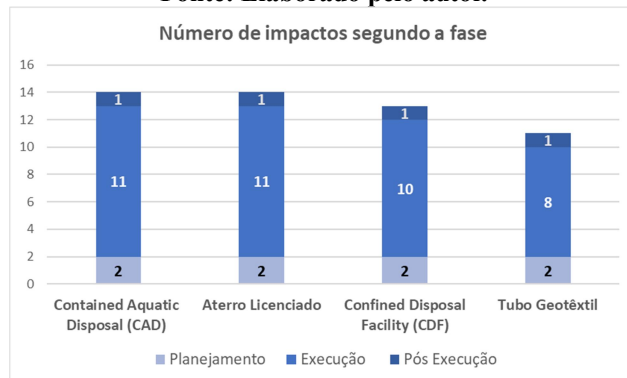


Figura 3. Comparativo do número de impactos identificados por fase da atividade.
Fonte: Elaborado pelo autor.



Analisando comparativamente a alternativa de disposição em CAD com a solução com o uso de tubos geotêxtil, observa-se uma expressiva redução do número de impactos de magnitude alta, que passam de seis para um impacto, uma redução de 83%. Quanto aos impactos de magnitude moderada, a redução foi de 50%, sendo seis para a alternativa de disposição em CAD, e três na alternativa com tubos geotêxtil (Figura 4).

Essa redução expressiva nos impactos de relevância alta e moderada se deve principalmente pelo fato de não haver a necessidade da realização de uma dragagem adicional para a construção do CAD e seu capeamento, não gerando assim, todos os impactos ambientais relacionados a atividade de dragagem. Além disso, na alternativa de disposição em tubos geotêxtil não há o lançamento do sedimento contaminado no mar, prevista para a solução de disposição em CAD, que traz consigo impactos permanentes, de grande relevância e magnitude para os meios físico e biótico e social, destacando-se a alteração na qualidade da água, os impactos nas populações pelágicas e bentônicas e os impactos decorrentes da bioacumulação e da transferência trófica dos contaminantes dispersos no mar. Apesar dos métodos de disposição do material dragado contaminado das duas alternativas serem diferentes entre si: disposição aquática confinada e disposição confinada em terra, observa-se, sob a ótica dos impactos ambientais, expressiva vantagem da disposição confinada com o uso de tubos geotêxtil para o caso objeto do presente estudo.

Analisando comparativamente a alternativa do tubo geotêxtil com as outras duas alternativas de disposição em solo do material dragado: disposição em Aterro Licenciado e disposição em CDF, observa-se também a redução do número de impactos de magnitude alta. A alternativa “Aterro Licenciado” apresentou cinco impactos, a solução de disposição em CDF, quatro impactos e para os tubos geotêxtil, como já descrito, um impacto de magnitude alta, representando uma redução de 80% e de 75%, respectivamente. Quanto aos impactos de magnitude moderada, foi observada a redução de 62,5% sendo oito impactos nas alternativas “Aterro Licenciado” e “CDF”, e três na solução “Tubo Geotêxtil”, em contrapartida, os impactos de magnitude baixa passaram de um (Aterro Licenciado e CDF) para sete, sendo os de maior ocorrência na solução “Tubo Geotêxtil” (Figura 5).

Figura 4. Comparativo do número de impactos identificados pelo estudo, classificados segundo o critério de “magnitude”: CAD x Tubo Geotêxtil.
Fonte: Elaborado pelo autor.

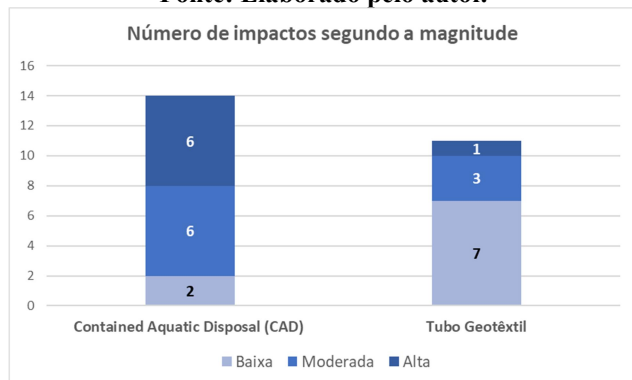
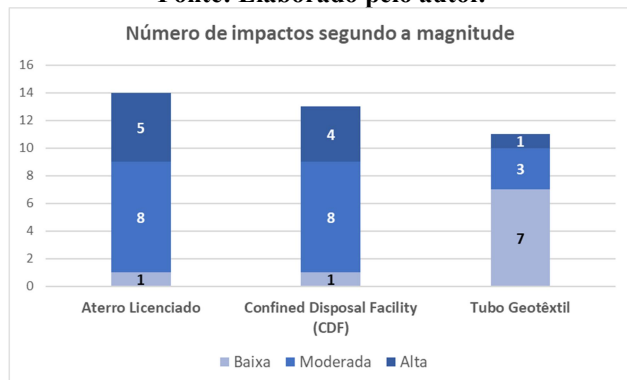


Figura 5. Comparativo do número de impactos identificados pelo estudo, classificados segundo o critério de “magnitude”: Aterro x CDF x Tubo Geotêxtil.
Fonte: Elaborado pelo autor.



A expressiva redução do número de impactos de magnitude alta e de magnitude moderada se deve a alguns aspectos importantes que merecem ser abordados. O primeiro deles é o fato de não haver a necessidade de uso de uma área externa à área do EBN para a disposição definitiva do material dragado contaminado. A permanência do material na área já afetada pela construção do empreendimento é de grande importância para reduzir os impactos relativos ao transporte desse material para o Aterro, e principalmente, pela não degradação de uma área além da já afetada pelo EBN. Este fato que gera impactos nos meios físico, bióticos e social, é de caráter permanente e de abrangência regional, além de ser de grade relevância, como identificado nas tabelas de valoração dos impactos ambientais.

O segundo aspecto que merece ser destacado é o fato do material dragado ser diretamente bombeado ao longo da operação de dragagem, não havendo necessidade de disponibilização de área e de equipamento de terraplenagem para a realização do pré-tratamento para a redução do volume antes do transporte rodoviário, como no caso do Aterro Licenciado, ou para a operação de espalhamento do sedimento no local de disposição, como no caso do CDF.

O terceiro aspecto relevante é o fato de o material dragado contaminado permanecer confinado nos tubos geotêxtil durante todo o processo de enchimento por bombeamento, que ocorre simultaneamente com a operação de dragagem. O confinamento do sedimento e a retenção dos contaminantes impedem o contato direto com o meio ambiente, havendo apenas a geração do efluente tratado pelos os tubos geotêxtil, diferentemente da solução com Aterro licenciado e com CDF. Sua permanência confinada e retenção dos contaminantes impedem o contato direto do sedimento com o meio ambiente, havendo apenas a disposição do efluente gerado pelos tubos geotêxtil, diferentemente da solução em Aterro Licenciado e em CDF.

Nessas duas alternativas estudadas (Aterro Licenciado e CDF), o sedimento contaminado permanece exposto ao meio ambiente durante o processo de pré-tratamento ou de operação de enchimento do local de disposição definitiva, havendo a possibilidade de exposição de fauna e da flora, de lixiviação do sedimento ou vazamento de efluente contaminado para o meio, gerando impactos de alta magnitude, como identificado nas tabelas de valoração dos impactos ambientais.

A alternativa com o uso das unidades de tubo geotêxtil foi a única em que foi identificado um impacto positivo na atividade de disposição do material dragado, que foi a possibilidade de uso benéfico desse material para o alteamento e disponibilização da área da UDC para futuras instalações do EBN. Ainda que essas instalações definitivas tenham suas fundações e cargas limitadas, trata-se de uma mudança significativa no entendimento do material dragado, ainda que contaminado, como o recurso natural valioso, sendo uma oportunidade de redução de aquisição de material de jazida.

A área da Unidade de Decantação de Contaminantes (UDC), onde estão dispostos os tubos geotêxtil encontra-se hoje disponibilizada para instalações administrativas, galpões e depósitos do canteiro de obras, sendo de grande importância de operação para o desenvolvimento das atividades.

Tendo como base o estudo de caso das dragagens para implantação do EBN, os resultados obtidos pela análise dos impactos ambientais das quatro alternativas avaliadas para a disposição do material dragado contaminado indicam que a solução de disposição em tubos geotêxtil apresentou expressiva vantagem em relação às demais soluções exploradas, sendo considerada como a mais adequada, sob a ótica exclusiva dos impactos ambientais, o objetivo do presente estudo (Tabela 5 e Figura 6).

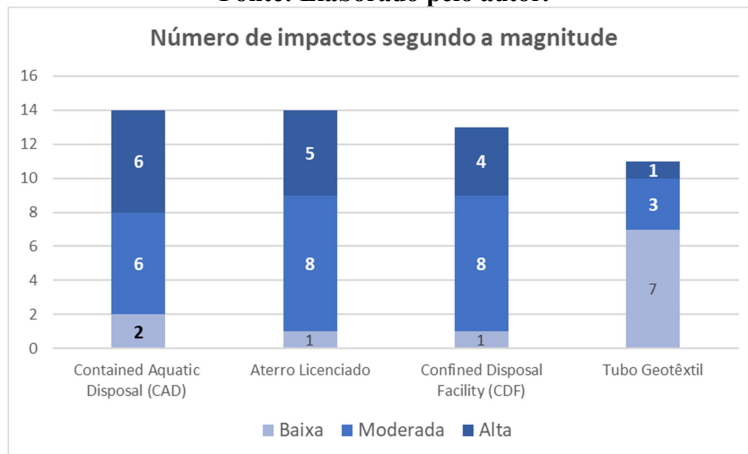
Tabela 5. Número de impactos identificados pelo estudo, classificados segundo o critério de “magnitude” – CAD x Aterro x CDF x Tubo Geotêxtil.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas avaliadas	Número de impactos			Número Total de Impactos
	Magnitude			
	Baixa	Moderada	Alta	
<i>Cotained Aquatic Disposal</i> (CAD)	2	6	6	14
Aterro Licenciado	1	8	5	14
<i>Confined Disposal Facility</i> (CDF)	1	8	4	13
Tubo Geotêxtil	7	3	1	11

Figura 6. Comparativo do número de impactos identificados pelo estudo, classificados segundo o critério de “magnitude” – CAD x Aterro x CDF x Tubo Geotêxtil.

Fonte: Elaborado pelo autor.



CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no estudo indicaram que a alternativa com o uso de tubos geotêxtil para a disposição do material dragado contaminado alcançou o melhor resultado dentre as quatro soluções avaliadas, quando comparado o número de impactos ambientais identificados com alguma relevância e sua classificação segundo o critério de magnitude.

O estudo de caso utilizado como base para a avaliação comparativa das quatro metodologias de disposição do material dragado conseguiu ilustrar como o conhecimento das características do material dragado e como as condições disponíveis no local são determinantes para a definição da alternativa mais adequada.

A solução com o uso de tubos geotêxtil obteve o menor número de impactos ambientais com alguma relevância, e os menores números de impactos de magnitude alta ou moderada, predominando os impactos de magnitude baixa.

Esse resultado se deve à alguns aspectos positivos relativos à essa solução, podendo-se destacar:

- O sedimento contaminado é removido do ambiente aquático e é bombeado de forma contínua diretamente para o ponto de disposição final em terra nas unidades de tubo geotêxtil;
- Além disso, o tratamento com o uso de produtos químicos que possibilitam a separação das parcelas sólida e líquida do material é realizada diretamente na linha de tubulação, de forma contínua com a operação de dragagem, sem que haja contato do sedimento contaminado com o ambiente, além dos já decorrentes.
- Os resultados do monitoramento dos efluentes confirmaram a eficiência na retenção dos contaminantes presentes no sedimento dragado;
- O estudo indicou outro aspecto relevante para o resultado favorável dos tubos geotêxtil: Não há mobilização de área externa ao Estaleiro e Base Naval, além daquela já afetada pelo empreendimento;
- Dessa forma, o fato da Unidade de Decantação de Contaminantes ficar localizada dentro do EBN, reduz ou torna irrelevante os impactos gerados pelo transporte do material para disposição e pela mobilização de uma nova área fora do empreendimento.
- A solução com o uso das unidades de tubo geotêxtil possibilitou o uso benéfico do sedimento dragado contaminado para o alteamento de toda a área da Unidade de Decantação de Contaminantes. Elevar a cota do local era uma premissa do projeto, e permitiu a construção de instalações que hoje são utilizadas pela Marinha do Brasil e pela empresa construtora, mas que futuramente, estarão disponíveis para a construção de instalações definitivas do EBN.

Espera-se que o presente estudo contribua para futuras pesquisa relacionadas ao tema “disposição do material dragado contaminado”. Sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas para a avaliação da solução de disposição confinada em tubos geotêxtil, em que se considerem outros aspectos não avaliados no presente trabalho, como o prazo de execução e custos de implantação. Sugere-se ainda que futuras pesquisa possam avaliar a solução sob outras condições de dragagem, como por exemplo, para o confinamento de sedimentos contaminados por outras classes de contaminantes, ou para disposição em regiões com pouca disponibilidade de área para o acondicionamento dos tubos de geotêxtil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALFREDINI, P.; ARASAKI, E., 2009. Obras e Gestão de Portos e Costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. p. 623-650. ISBN 978-85-212-0486-2.
2. ALMEIDA, S. R., 2004. Subsídios para o Gerenciamento Ambiental de Projetos de Dragagem em Portos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) IME, Rio de Janeiro, 2004, p.190.
<https://transportes.ime.eb.br/DISSERTAÇÕES/DIS200.pdf>
3. ALVAREZ-GUERRA, M. et al, 2007. Sediment Quality Assessment and Dredged Material Management in Spain: Part II, Analysis of Action Levels for Dredged Material Management and Application to the Bay of Cádiz. Integrated Environmental Assessment and Management. v.3, n.4, p. 539 – 551, 2007.
https://doi.org/10.1897/ieam_2007-016.1
4. ANTAQ, 2021. Resultado do Estatístico Aquaviário 2020. Agência Nacional de Transporte Aquaviário.
http://sophia.antaq.gov.br/index.asp?codigo_sophia=28147
5. CASTIGLIA, M. C. C. P.; 2006. Disposição Subaquática de Rejeitos de Dragagem: O Caso do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006, p.170.
<http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/106-msc-pt-2006/2055-maria-clara-cerqueira-paranhos-castiglia>
6. CASTRO, S. M.; ALMEIDA, J. R., 2012. Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. Soc. & Nat., Uberlândia, ano 24 n. 3, p.519-534, set/dez. 2012.
<https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000300011>
7. GOES FILHO, H. A., 2004. Dragagem e Gestão de Sedimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004, p.162. <http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/104-msc-pt-2004/1907-hildebrando-de-araujo-goes-filho>
8. Leopold, L. B. et al, 1971. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Survey Circular. 645, USGS, Washington DC.
9. MENEGAZZO, L; PETTERINI, F., 2018. Maiores Navios no Mundo, mais um Desafio no Brasil: uma análise do Programa Nacional de Dragagem. Estudos Econômicos, São Paulo, v.48 n.1, p. 175-209, jan/mar. 2018
<https://doi.org/10.1590/0101-41614816175lmf>
10. MONTEIRO, A. M., 2010. Estudos das Técnicas de Disposição de Sedimentos Contaminados de Dragagem. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) IME, Rio de Janeiro, 2010, p.138.
<https://transportes.ime.eb.br/DISSERTAÇÕES/DIS200.pdf>
11. ROSA, L., N.; FREITAS, D.M., 2021. Environmental Impacts Systematic Analysis of Ports Disposed Dredged Sediments Techniques. Journal of Integrated Coastal Zone Management (2021) v.21, n.2, p. 87-99, jun.2021.
<https://doi.org/10.5894/rgci-n398>
12. SOUZA, J. F., 2018. Comportamento Ambiental e Geotécnico da Disposição de Sedimentos de Dragagem em Sistema Geotêxtil Fechado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2018, p.261.
<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11697/2/886858.pdf>
13. TEIXEIRA, L. S.; DIAS, C. R., 2016. Estudo das propriedades químicas dos rejeitos de dragagem para utilização como solo fabricado para fins agrícolas. VII SEMENGO – Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, nov. 2016. Universidade Federal do Rio Grande, RS. <https://semengo.furg.br/images/2008/26.pdf>
14. UNCTAD, 2015. Review of Maritime Transport . United Nations Conference on Trade and Development, Genebra, Suíça. http://www.unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2015_en.pdf
15. USACE, 2015. Dredging and Dredged Material Management. United States Army Corps Of Engineers. EM 1110-2-5025. Department of the Army Washington D.C, USA, 2015.