

Problemas ambientais relacionados com a dragagem de sedimentos poluídos

R. M. Fonseca (1), C. Palma (2)

(1) Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências da Terra (ICT), Laboratório AmbiTerra, Universidade de Évora, rfonseca@uevora.pt

(2) Instituto Hidrográfico da Marinha. Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho.

Resumo:

A dragagem é uma das técnicas mais eficientes na recuperação de um corpo de água, sendo a única capaz de remover total ou parcialmente os sedimentos, local preferencial de acumulação e retenção de elementos poluentes. É um método economicamente viável quando comparado com outros programas de reabilitação e uma das grandes vantagens relativamente a métodos químicos ou biológicos, é a não introdução de substâncias estranhas no sistema. A sua eficácia depende de um prévio controlo do material que é lixiviado da bacia, da morfologia e hidrologia do sistema hídrico e das características químicas/biológicas do material depositado. A remoção dos sedimentos poderá ter impactos negativos, sendo por vezes uma metodologia desaconselhada num projeto de recuperação. Apresentam-se os principais problemas associados à dragagem e os estudos prévios que deverão realizar-se para a proposta de uma metodologia de reabilitação correcta, exemplificados através de um estudo de caso no Estado de Minas Gerais (Brasil).

Palavras-chave: contaminação, dragagem, impactos ambientais, remediação, sedimentos

1. INTRODUÇÃO

O principal objectivo de um projecto de recuperação de um sistema aquático poluído é o de encontrar técnicas adequadas que melhorem a qualidade da água o suficiente para se poder comparar a padrões locais. Na proposta destes projectos deverão ser obrigatoriamente incluídos dois pontos principais: (1) aplicação de correctas e efectivas medidas de gestão e controlo das fontes pontuais na bacia antes de qualquer intervenção, e (2) estudos detalhados dos sedimentos, material em suspensão e massa de água, para a proposta de uma metodologia de reabilitação correcta, com eficiência a longo prazo e sem impactos nocivos para o ambiente. Esses estudos deverão ainda apoiar a escolha do processo mais adequado às características do sistema de forma a assegurar a sua eficácia.

As tecnologias de remediação para sedimentos aquáticos contaminados são muito complexas e podem ter de envolver uma combinação de metodologias físicas, químicas e biológicas dado que estes materiais representam os últimos repositórios de contaminantes no meio, em resultado de processos de escorrência, infiltração e deposição (Siegel, 2002; Reible e Lanczos, 2007). A maior parte das tecnologias são difíceis de aplicar neste tipo de materiais sedimentares e impõem riscos potenciais inaceitáveis, podendo-se dividir em quatro tipos diferentes de abordagens (US EPA, 1994; Reis *et al.*, 2007):

1. No isolamento dos materiais contaminados, através da colocação de coberturas superficiais ou

barreiras laterais de forma a impedir o alastramento da contaminação;

2. Na imobilização da contaminação, por solidificação ou fusão do material adjacente, o que leva a uma estabilização dos contaminantes e uma resistência à lixiviação;

3. Na redução da toxicidade ou redução da mobilidade dos contaminantes, através da utilização de tratamentos biológicos ou químicos;

4. Na remoção dos sedimentos contaminados através de dragagem, com o subsequente disposição e tratamento.

Cada metodologia tem benefícios e limitações com respeito ao tempo que leva para remoção total dos contaminantes, ao custo e a outro tipo de problemas, como os relacionados com a disposição do material a tratar.

A dragagem é considerada com uma das técnicas mais eficientes e com resultados permanentes ou de longa duração no que diz respeito ao aumento da capacidade de assimilação de um corpo de água, por ser a única técnica capaz de remover total ou parcialmente os sedimentos, local preferencial de acumulação e retenção de elementos e/ou compostos poluentes (MACTEC Project, 2008; OSPAR Commission, 2008; Manap e Voulvoulis, 2014). É uma tecnologia de remediação que poderá ser aplicada de forma isolada ou usada em combinação com processos de recuperação monitorizados e/ou com coberturas com materiais diversos (*capping*). É uma técnica vulgarmente utilizada na recuperação de lagos naturais ou artificiais, estuários, zonas costeiras, canais e linhas de água, eutrofizados ou contaminados. Embora com custos elevados, a

dragagem poderá ser um método economicamente viável quando comparado com outros programas de controlo da sedimentação e duas das grandes vantagens relativamente a métodos químicos ou biológicos de remediação, é o facto de não contribuir para a introdução no sistema de substâncias estranhas que poderão ter efeitos de poluição secundária (US EPA, 1981; Alan Plummer Associates, 2005) e a mais curta duração das operações relativamente a outras metodologias de descontaminação.

A sua eficácia depende, porém, de diversos factores: (1) prévio controlo do material que é lixiviado da bacia, através da implementação de técnicas eficientes de minimização de transporte de partículas e de elementos solúveis para as linhas de água, (2) morfologia e hidrologia dos corpos de água (topografia do fundo, batimetria, espessura dos sedimentos depositados) e prévio conhecimento dessas características, (3) características químicas, (teor e mobilidade de elementos contaminantes, identificação e /quantificação das frações minerais ou orgânicas às quais estão associados), físicas (textura, densidade, permeabilidade, porosidade) e mineralógicas (identificação de minerais argilosos e avaliação da sua capacidade de retenção, sais solúveis e minerais secundários com elementos poluentes na sua estrutura) do material depositado e conhecimento da sua distribuição espacial e temporal, (4) utilização de um sistema de dragagem ambientalmente correcto que provoque baixa taxa de ressuspensão dos sedimentos e (5) conhecimento dos possíveis impactos da dragagem na qualidade da água.

Os pontos 2), 3) e 5) permitirão: *i*) a escolha da metodologia de dragagem mais apropriada, *ii*) o conhecimento das condições operacionais mais adequadas como, a velocidade de extração, a potência, a rotação da cabeça de corte da draga, a profundidade de corte no sedimento, a largura do pipeline usado no transporte do sedimento removido para a margem e, *iii*) a extração seleccionada de diferentes espessuras de sedimento em função das suas características e profundidade de contaminação.

2. IMPACTOS DA DRAGAGEM DOS SEDIMENTOS NO MEIO

Nenhum método de remediação consegue remover, conter ou tratar materiais sedimentares contaminados sem nenhum distúrbio e conseqüente libertação de contaminantes. Os sedimentos são espacialmente muito variáveis, têm elevado volume e representam sistemas dinâmicos sujeitos a variações de fluxos sazonais e eventos climáticos diversos. Apresentam problemas especiais dado que estão sob a acção de águas que fluem e/ou que circulam subterraneamente, o que provoca uma dispersão e difusão dos elementos poluentes (Siegel, 2002,

Este texto não foi escrito segundo as regras do novo Acordo Ortográfico

Reible e Lanczos, 2007). Qualquer metodologia que se utilize para remover a contaminação tem de ter em conta o efeito de enormes volumes de água associados. Deste modo, é necessário conhecerem-se os factores que poderão mobilizar e imobilizar os contaminantes nos sedimentos, tais como, modificações de pH, das condições de redução e oxidação, de complexação orgânica e inorgânica, de mediação microbiológica.

A dragagem dos sedimentos poderá ter alguns impactos negativos que terão de ser avaliados num projeto de recuperação (US EPA, 1981; Holdren *et al.*, 2001; Siegel, 2002; Alan Plummer Associates, 2005; MACTEC Project, 2008). Tendo em conta a multiplicidade de processos envolvidos nesta operação, onde se incluem: remoção dos sedimentos, transporte, disposição (líquidos e sólidos) e tratamento (Palermo e Hays, 2014), para que ela seja eficaz terá de existir uma boa coordenação entre todos, o que nem sempre é fácil. O mau funcionamento de um dos processos, torna ineficaz toda a complexa operação de dragagem.

2.1. Remoção dos sedimentos

A remoção dos sedimentos envolve certos impactos que terão de ser acautelados. De entre eles, destacam-se: *i*) perda de material durante a remoção, *ii*) ressuspensão (dispersão dos sedimentos na coluna de água), *iii*) libertação (perda de contaminantes a partir da água intersticial ou das partículas de sedimentos ressuspensos, para a coluna de água ou para o ar) e *iv*) produção de resíduos (sedimentos que permanecem no leito do corpo de água adjacentes ao local de dragagem, após o término das operações de remoção).

i) Para além do material que se perde a partir da cabeça de corte do equipamento de dragagem, também o transporte dos sedimentos contaminados poderá levar a algumas perdas e dispersão, introduzindo contaminantes em áreas anteriormente descontaminadas;

ii) Mesmo utilizando metodologias ambientalmente correctas, existe sempre uma ressuspensão de sedimentos na coluna de água, o que contribui para uma redução da sua qualidade. O risco associado a este material ressuspensão depende das características físico-químicas dos sedimentos, da natureza dos contaminantes e do seu comportamento geoquímico quando ocorrem modificações das condições físico-químicas do meio. O risco da ressuspensão diminui quando os sedimentos a remover têm baixa percentagem de fracção fina e o sistema possui baixo tempo de residência hidráulico e alguma drenagem, de forma a diminuir o tempo de permanência das partículas em suspensão na coluna de água quando os sedimentos sofrem remeximento.

iii) No caso de os elementos contaminantes serem metais pesados, dependendo das características físico-químicas dos sedimentos, os seus níveis na

coluna de água poderão potencialmente aumentar, devido a um aumento das condições de oxidação inerentes ao remeximento dos sedimentos, com a conseqüente libertação deste elementos e/ou compostos metálicos anteriormente retidos por precipitação ou adsorção em diversas formas minerais e orgânicas em condições redutoras. Neste caso, a dragagem é desencorajada, como opção de limpeza de sedimentos, em particular se os contaminantes forem metais que aumentem a sua mobilidade e biodisponibilidade em condições oxidantes (Siegel, 2002).

iv) Em corpos de água com distribuição irregular dos sedimentos, a operação de remoção do material por dragagem deverá ser dificultada e conduzir à produção de quantidades consideráveis de resíduos. Estes podem ser agrupados em duas categorias (Palermo e Hays, 2014): i) resíduos não perturbados: correspondem a sedimentos contaminados que não foram totalmente removidos pela dragagem e ii) resíduos gerados: correspondem a sedimentos contaminados que foram deslocados ou ressuspensos pelas operações de dragagem e que foram posteriormente re-depositados no leito do corpo de água. Os dois tipos de resíduos apresentam diferentes riscos para o meio e podem requerer diferentes métodos de prevenção e diferentes respostas de gestão e de monitorização. Dados compilados nos últimos anos a partir de um número considerável de projectos de dragagem, indicam que os resíduos podem conter entre 5 a 9% da massa de contaminantes removida pela dragagem (Patmont, 2006).

No caso de existir quantidade apreciável de resíduos após as operações de remoção, é usual utilizar-se uma fina cobertura de material limpo (*capping*), de forma a fornecer a curto prazo um isolamento do material contaminado e a reduzir a longo prazo a contaminação superficial. Este material pode ser constituído por areia, zeólitos, argilas bentónicas, geotêxteis, com potencial para reduzir a biodisponibilidade dos elementos contaminantes (Palermo e Hays, 2014).

2.2. Transporte, disposição e tratamento dos sedimentos

Frequentemente, os maiores problemas associados à dragagem são o transporte, a disposição e o tratamento dos materiais removidos, sendo normalmente estes que aumentam os custos desta tecnologia.

i) Após a remoção, o material tem de ser transportado para uma área de decantação de forma a desidratar e seguidamente para a área do seu processamento, tratamento ou disposição final. O transporte tem de estar ligado aos processos de dragagem e pode envolver diferentes meios: através de *pipeline*, barcas, camião, etc. A primeira etapa do transporte é a deslocação do sedimento para os locais de decantação e desidratação, seguindo-se

posterior deslocação para os locais de pré-tratamento, tratamento e/ou disposição final. O transporte, para além de acarretar custos elevados, pode sempre aumentar os riscos de contaminação ao poderem ser lixiviados ou arrastados materiais contaminados em locais anteriormente não poluídos; ii) A disposição refere-se à colocação do material dragado em estruturas temporárias ou permanentes de forma a prevenir a contaminação associada aos sedimentos e resíduos e que possam vir a ter forte impacto na saúde humana e no ambiente (Palermo e Hays, 2014). É a etapa que implica maiores custos e maiores problemas logísticos, uma vez que são necessários locais adequados, bem impermeabilizados, sendo muitas vezes realizado o tratamento dos materiais contaminados para a diminuição do seu volume.

iii) O tratamento pode consistir na separação física das fracções não contaminadas (normalmente as fracções mais grosseiras, da dimensão do cascalho e da areia possuem uma menor capacidade de adsorção de elementos contaminantes), de modo a reduzir o volume do material a tratar. Os processos de tratamento dos materiais de textura mais fina, onde os contaminantes geralmente se concentram, são muito diversos e, geralmente, baseiam-se na redução da toxicidade e mobilidade dos elementos contaminantes antes da sua disposição final (Mulligan *et al.*, 2001; Khan *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2007; Palermo e Hays, 2014).

3. CASO DE ESTUDO

A análise geoquímica realizada numa área industrial de produção de ligas metálicas de zinco, no Estado de Minas Gerais, Brasil, indicou a presença, em materiais sedimentares de um pequeno afluente do rio São Francisco e respectiva planície aluvionar, de elevados índices de contaminação de Zn-Cd-Pb-Cu-As-Ni, a maior parte deles em formas facilmente mobilizáveis (solúveis, como catiões de troca, associados a óxidos de manganês).

De forma a propor metodologias de remediação efectivas, de verificar o comportamento dos metais e avaliar a sua perigosidade ambiental durante uma operação de remoção dos sedimentos, simulou-se em laboratório um processo de dragagem invasivo em sectores específicos desse curso d'água, utilizando sedimentos e água amostrados simultaneamente e respeitando a relação espessura do material/altura da coluna de água. Pretendeu-se determinar o efeito do remeximento dos sedimentos na qualidade da água, de forma a compreender as principais limitações associadas à utilização da dragagem como método de remediação da área. Amostras foram agitadas continuamente durante 24 Horas, tendo-se realizado dois tipos de ensaios: (1) recolha de duas sub-amostras: uma filtrada (representando material dissolvido) e outra digerida em solução ácida (representando material dissolvido+particulado) e (2) recolha e leituras da turbidez imediatamente após

agitação, após 1 hora de repouso, 2 horas, 8 horas, 24 horas, 48 horas, 96 horas e 7 dias. Em todas as amostras analisaram-se o pH, a condutividade eléctrica e os teores dos elementos metálicos foram lidos através de ICP-OES.

As análises geoquímicas permitiram desaconselhar a utilização da dragagem como técnica de remediação dos sedimentos pelas seguintes razões: (1) indicaram a presença de elevados índices de contaminação de metais pesados em formas facilmente solubilizáveis, que se mantinham em formas reactivas mesmo 7 dias após a dragagem, (2) estes metais, associados às partículas minerais dos sedimentos em estado reduzido, aumentam a mobilidade em condições oxidantes, pelo que qualquer remeximento do material desencadeado pelas operações de dragagem libertaria grandes quantidades destes elementos para a coluna de água, (3) a dragagem teria eficácia apenas a curto prazo dado que a contaminação se fazia fundamentalmente através da difusão de sais em solução nas águas intersticiais e subterrâneas. A remoção dos sedimentos, que implicaria custos muito elevados, não seria uma tecnologia de descontaminação com resultados permanentes ou duradouros, dado que este curso de água está continuamente a ser alimentado pelos fluxos de água que circulam nos espaços intersticiais dos materiais aluvionares e que têm concentrados elevados teores de metais potencialmente tóxicos.

4. CONCLUSÕES

Antes de se projectar um programa de dragagem, para além de uma caracterização completa da área, incluindo morfologia do corpo de água e características químicas, físicas e mineralógicas dos sedimentos, é de ter em conta todas as limitações desta tecnologia que possam inviabilizar o seu recurso para remediação de sedimentos contaminados e propor uma outra metodologia de reabilitação, eficiente e com um menor número de impactos nocivos para o ambiente.

Dada a complexidade dos processos e os elevados custos associados a estes programas de remediação, para além de uma completa caracterização do meio, é essencial fazer-se um estudo piloto para testar a eficiência da tecnologia de remoção ou imobilização dos elementos poluentes nos materiais que se pretendem descontaminar. Para um melhor dimensionamento dos ensaios à escala piloto, é importante conhecer-se a reacção do material aos métodos propostos, pelo que, é igualmente imprescindível fazer-se a aplicação destas técnicas à escala laboratorial, de forma a se poderem controlar todos os factores, conhecer-se o comportamento químico e físico e a resposta do meio à sua variação. Só com estes estudos prévios será possível apresentar-se uma proposta de reabilitação com eficiência a longo prazo e ambientalmente correcta.

Este texto não foi escrito segundo as regras do novo Acordo Ortográfico

REFERÊNCIAS

- Alan Plummer Associates (2005). *Dredging vs New Reservoirs*. Texas Water Development Board. TWDB Contract 2004-483-534.
- Holdren, C., Jones, B., Taggart, J. (2001). *Managing lakes and reservoirs*. North American Lake Management Society. 400 pp.
- Khan, F. I., Husain, T., Hejazi, R. (2004). An overview and analysis of site remediation technologies. *Journal of Environmental Management*, 71, 95-122.
- MACTEC Project (2008). *Dredging as a Restoration Tool For Lake Water Quality Improvement*. Updated for: St. Johns River Water Management District. MACTEC Project Number 6063070098.
- Manap, N., Voulvoulis, N. (2014). Risk-based decision-making framework for the selection of sediment dredging option. *Science of the Total Environment*, 496, 607-623.
- Mulligan, C. N., Yong, R. N., Gibbs, B. F. (2001). An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 85, 145-163.
- OSPAR Commission (2008). *Assessment of the environmental impact of dredging for navigational purposes*. 18 pp.
- Palermo, M., Hays, D. (2014). Sediment Dredging, Treatment and Disposal. In D.D. Reible (ed.), *Processes, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments*. Springer Science + Business Media New York., 365-391.
- Patmont, C. (2006). *Contaminated sediment dredging residuals: Recent monitoring data and management implications*. National Research Council Committee on Sediment Dredging.
- Reible, D., Lanczos, T. (2007). *Assessment and remediation of contaminated sediments*, Vol. 73, Springer Science & Business Media. DOI 10.1007 / 978-1-4020-4959-0, 238 pp.
- Reis, E., Lodolo, A., Miertus, S. (2007). Survey of sediment remediation technologies. International Centre for Science and High Technology. 124pp.
- Siegel, F. (2002). *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer Verlag, 218p.
- US EPA (1981). Sediment Removal as a Lake Restoration Technique. Corvallis Environmental Research Laboratory, 61 pp.
- US EPA (1994). Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program. Assessment Guidance Document." EPA-905-B94-002. Great Lakes National Program Office.