

VI-263 – POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO NOS AMBIENTES AQUÁTICOS

Edilene Aparecida Peixoto e Almeida⁽¹⁾

Geógrafa pelo Centro Universitário Newton Paiva. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG.

Gustavo Ferreira Simões⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFMG. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela PUC-Rio. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da Escola de Engenharia da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Pompeia, 543/304 - Santa Cruz Industrial - Contagem - MG - CEP: 32340-220 – Brasil - email: edilene_peixoto@yahoo.com.br

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica emergente no Brasil com ampla perspectiva ao crescimento da demanda devido à viabilidade técnica e econômica da sua implementação. O presente artigo tem como objetivo apresentar uma contribuição na área da fitorremediação, fazendo-se o uso de uma compilação de informações apresentadas e discussões propostas pela comunidade acadêmica sobre as macrófitas aquáticas e seu uso na fitorremediação. Apresentam-se neste artigo, ainda que de forma sintética, as bases conceituais e os princípios que norteiam o uso da técnica de fitorremediação. Discorre-se ainda sobre as potencialidades e limitações no uso desta técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação, Macrófitas, Plantas Aquáticas.

INTRODUÇÃO

As tecnologias baseadas no uso de vegetais para remediação de áreas contaminadas são cada vez mais utilizadas em países desenvolvidos. No Brasil, apesar de haver condições climáticas e ambientais favoráveis ao desenvolvimento desse processo, praticamente não é aplicado. Isso decorre, sobretudo, por histórias de insucessos no uso indiscriminado e descontrolado de espécies vegetais, gerando falta de interesse político-econômico nesse assunto. O que reflete a carência de uma política direcionada à redução dos passivos ambientais existentes. Mas, a exemplo do que ocorreu em outros países, a tendência é a modificação desse cenário em futuro próximo.

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas (macrófitas aquáticas), no intuito de amenizar a contaminação das águas.

As espécies vegetais ou macrófitas são importantes componentes estruturais dos ecossistemas aquáticos e são fundamentais para o equilíbrio desses ambientes. Estas plantas constituem uma importante fonte de carbono e energia na base da cadeia alimentar, proporcionando habitat de alimentação e de refúgio para várias formas de organismos aquáticos. Além disso, essas plantas promovem heterogeneidade espacial e temporal que favorece a biodiversidade dos corpos hídricos, fornecem substrato para colonização e crescimento dos microrganismos e ainda absorvem o excesso de nutrientes dissolvidos na água (Pilon-Smits, 2005).

Sem qualquer ação antrópica, o corpo hídrico passará por um processo sucessório natural de populações, comunidades e condições da água, num processo de eutrofização natural. A sucessão ecológica natural começa em águas distróficas, a qual é apenas capaz de suportar o crescimento de esparsas populações de algas unicelulares. Com o tempo, o material trazido de montante e da bacia de contribuição pelo processo erosivo acumula-se no corpo hídrico e, juntamente com algas mortas, promovem um aumento expressivo na diversidade, complexidade e densidade das populações de algas. Os organismos mortos se acumulam no fundo do corpo hídrico criando um sedimento rico em colóides minerais e orgânicos. O sedimento mantém um equilíbrio iônico com a água, enriquecendo-a com nutrientes essenciais. Depois de alguns anos, a eutrofização natural permite que haja o crescimento de macrófitas submersas, especialmente em águas que mantêm a transparência. Com o tempo, o acúmulo de sedimentos aumenta e as concentrações de nutrientes também, permitindo o crescimento e formação de densos bancos de macrófitas marginais emergentes e de plantas

flutuantes. Daí por diante, o sedimento tende a ser cada vez mais alto e rico e a colonização por macrófitas mais densa e diversificada (Thomaz *et al.*, 1998).

No entanto, em determinadas situações, algumas destas plantas são favorecidas por alterações ambientais ou desequilíbrios no corpo hídrico e formam extensas e densas populações em detrimento de outras espécies. Nestas condições, as macrófitas passam a constituir problemas para o uso múltiplo da água e dos corpos hídricos. Além da eutrofização do corpo hídrico, outros fatores são importantes para o estabelecimento e crescimento das populações de macrófitas, podendo ser citadas: a introdução de plantas exóticas, a introdução de animais exóticos predadores de organismos herbívoros, as alterações das características do fluxo d'água e o desequilíbrio da rede trófica local favorecendo as macrófitas (Pompêo, 2008).

Apesar de todas as potencialidades comprovadamente significativas, a fitorremediação apresenta algumas limitações e dificuldades que devem ser previstas antes de se optar pelo seu uso. É imprescindível avaliar os casos de sucessos e insucessos no uso de macrófitas aquáticas na hora da escolha das espécies.

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma contribuição sobre a fitorremediação e pretende compilar as referências bibliográficas que apresentam discussões propostas por diversos autores sobre as macrófitas aquáticas e seu uso na fitorremediação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a apresentação deste artigo, foram compiladas discussões apresentadas pela comunidade científica sobre a técnica de fitorremediação através de revisão bibliográfica realizada nos bancos de dados internacionais e trabalhos publicados no Brasil que têm sido desenvolvidos nesta área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fitorremediação é uma técnica de descontaminação em que se utilizam plantas para remover poluentes do ambiente ou transformá-los em formas menos perigosas para os seres vivos. O impacto ambiental e os custos na implantação são inferiores àqueles dos métodos físicos e químicos, além de ser uma técnica de fácil implementação (Pilon-Smits, 2005).

A utilização racional dos corpos hídricos lóticos (rios e córregos) ou lênticos (lagos e represas), e sua conservação com relação à qualidade da água de forma a atender ao uso múltiplo de seus recursos, é um dos grandes desafios em todo o mundo na atualidade. A produção de resíduos domésticos, industriais e agrícolas tem gerado diversos problemas, ocasionando a eutrofização dos reservatórios, aumentando a carga de sedimentos depositados, bem como a concentração de metais pesados e outros elementos tóxicos (Andrade *et al.*, 2007).

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou até mesmo despoluir áreas contaminadas. É necessária a utilização de plantas que possuam determinadas características como: uma boa capacidade de absorção; sistema radicular profundo e denso; acelerada taxa de crescimento e produção de biomassa; fácil colheita; que apresentem uma grande resistência ao poluente, pragas e doenças; adaptabilidade ao local a ser remediado; fácil controle ou erradicação posterior e, quando necessário, facilidade de remoção das plantas da área contaminada (Pilon-Smits, 2005; Procópio *et al.*, 2009).

Ainda segundo Pilon-Smits (2005) a fitorremediação ganhou aceitação nos últimos 10 anos como uma alternativa rentável, não invasiva e que pode também ser utilizada como uma tecnologia complementar a outros métodos de remediação ambiental. As plantas podem ser utilizadas para a estabilização do poluente, extração, degradação ou sua volatilização, quando for o caso.

A fitorremediação apresenta elevado potencial de utilização, devido às vantagens que apresenta em relação às outras técnicas de remediação de contaminantes. Segundo Procópio *et al.* (2009), as principais potencialidades na utilização da fitorremediação são:

- Menor custo em relação às técnicas de remediação tradicionalmente utilizadas;
- O emprego de plantas é mais favorável esteticamente do que qualquer outra técnica de remediação, e pode ser implementado com o mínimo distúrbio ambiental;
- Utiliza energia solar para realizar os processos de descontaminação;
- Apresenta alto índice de aceitação pública, perante a sociedade.

Apesar de todas as potencialidades comprovadamente significativas, a fitorremediação apresenta algumas limitações e dificuldades que devem ser previstas antes de se optar pelo seu uso. Segundo Procópio *et al.* (2009) as principais limitações em programas de fitorremediação são:

- Dificuldade na seleção de plantas;
- O contaminante deve estar dentro da zona de alcance do sistema radicular;
- O clima e condições edáficas podem restringir o crescimento das plantas;
- A presença do contaminante na parte aérea das plantas pode favorecer a contaminação da cadeia alimentar;
- O tempo requerido para a obtenção de uma despoluição pode ser longo;
- Necessidade de retirada das plantas da área contaminada, quando o composto tóxico é apenas fitoacumulado ou fitodegradado a um composto ainda tóxico;
- Dificuldade de controle posterior da planta fitorremediadora.

Assim, uma das primeiras etapas no programa de fitorremediação é a seleção da(s) espécie(s) fitorremediadora(s). Para isso é necessário conhecer com profundidade as características químicas do contaminante, bem como as características químicas e físico-químicas do ambiente a ser remediado.

O ideal na escolha da espécie seria reunir todas as características fisiológicas e morfológicas, que a torne adequada para a utilização nos problemas ambientais, em uma só espécie. Porém, aquela que for selecionada deve reunir o maior número possíveis de atributos. Outro aspecto a ser observado é que várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ao mesmo tempo ou subsequentemente, para promoverem maior descontaminação (Procópio *et al.*, 2009).

Andrade *et al.* (2007) destaca, com base em diversos autores, as seguintes espécies de plantas como propícias ao uso na fitorremediação: *Phragmites australis* Trin., *Elodea* sp, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton lucens*, *Eichhornia crassipes*, *Elodea canadensis*, *Elodia nuttali*, *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum bethrophyllum*, *Patomoge* spp, *Polygonum hydropiperoides*, *Lemna minnor*, *Sebastiania comersoniana* e *Thypha domingensis*.

Diferentes espécies vegetais têm sido utilizadas na fitorremediação dos ambientes aquáticos, como exemplo pode ser citado *Eichhornia crassipes* (aguapé), planta até pouco tempo consagrada, no entanto, em alguns artigos aparecem como “praga”, e, em outros, é defendida como agente despoluidor dos sistemas aquáticos mediante sua utilização controlada (Neves *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2003; Hussar *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2007). Quando o meio aquático em que vivem recebem nutrientes (nitrogênio e fósforo), através de processos naturais, atividades agropecuárias ou mesmo pelo esgoto doméstico, as macrófitas aquáticas apresentam uma fantástica capacidade de reprodução. Nessas situações, essas plantas são geralmente consideradas infestantes e nocivas, pois obstruem rios, lagos e represas, impedindo a navegação e alterando o ecossistema aquático. Em

certos locais do mundo o controle das plantas chegou a ser uma questão de defesa nacional, onde mobilizaram-se meios mecânicos, químicos e biológicos para controlar a infestação (Neves *et al.*, 2002).

Os maiores problemas causados pelas densas colonizações de macrófitas aquáticas são: (i) alteração das características da água, especialmente redução da disponibilidade de oxigênio dissolvido, (ii) alteração das características de navegabilidade e de utilização do corpo hídrico para esportes náuticos, (iii) prejuízos à produção de peixes e para a captura do pescado, (iv) criação de condições adequadas para instalação e manutenção de populações de insetos e outros organismos indesejáveis, incluindo vetores de doenças humanas, (v) redução da capacidade de armazenamento e da durabilidade de reservatórios, (vi) redução do fluxo d'água e da vida útil de canais de irrigação e drenagem, (vii) interferência na captação de água para irrigação e uso público, (viii) interferência na produção de energia elétrica, (ix) aumento das perdas d'água por evapotranspiração, dentre outros (Thomaz *et al.*, 1998).

As macrófitas aquáticas constituem sérios problemas para muitos corpos hídricos com forte influência antrópica, especialmente reservatórios construídos para fins hidrelétricos e que se localizam em áreas com elevado grau de urbanização. Na formação do reservatório há alteração de um sistema lótico para um sistema lântico, com maior capacidade de acúmulo de materiais, com grandes alterações nas condições de oxi-redução da coluna d'água e outras modificações que, como resultado final, alteram a qualidade da água e, em consequência, a biocenose instalada no corpo hídrico.

Nos reservatórios construídos para armazenamento de água ou para produção de energia hidrelétrica, a qualidade da água já está comprometida desde o enchimento, com um nível de eutrofização suficiente para suportar profuso crescimento de macrófitas submersas, flutuantes e marginais. É bastante comum que, em reservatórios recém construídos, as macrófitas já constituam um problema sério, podendo ser citados, como exemplos, os reservatórios de Santana (RJ) nos anos 50, Tucuruí (PA) em 1986, quando 38,1% de sua área foi coberta pelas macrófitas, Itá (SC) nos anos 90, Aimorés (MG), preenchido em 2005, entre outros.

As macrófitas podem ser introduzidas no meio aquático nos programas de fitorremediação ou podem aparecer naturalmente no processo de maturação, dentro da sucessão ecológica dos ecossistemas lacustres, associado ao tempo de evolução desses ambientes. No entanto, devido às condições favoráveis de clima e composição físico-química da água, grande parte dos reservatórios construídos no Brasil tem sido colonizada por macrófitas aquáticas, em diferentes graus. Em consequência do desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas, alguns apresentaram problemas operacionais e restrições de usos (Thomaz *et al.*, 2003). Além do clima, há reservatórios em que o aumento populacional dessas plantas deve-se à oferta contínua de nutrientes. O aparecimento de macrófitas aquáticas em reservatórios recém construídos é um fenômeno comum. Há vários relatos sobre tais colonizações, dentre os quais citam-se: Serra da Mesa (GO): *Salvinia* e *Pistia stratiotes* (De Fellipo, 2003); Tucuruí (PA): *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* (Petrere *et al.*, 1994); Salto Grande (SP): *Pistia stratiotes*, *Cyperus sp.*, *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia leptocarpa*, *Brachiaria sp.*, *Polygonum ferrugineum*, *Eichhornia crassipes*; *Salvinia auriculata*, *Bacopa sp.*, *Typha domingensis* e *Hedychium coronarium* (Tavares *et al.*, 2004); Jurumirim (SP): *Echinochloa polystachya*, *Eichhornia azurea*, *Habenaria edwalli*, *Oxycaryum cubense*, *Polygonum spectabile*, *Limnobiium stoloniferum*, *Polygonum sp.*, *Ludwigia sp.*, *Myriophyllum sp.*, *Azolla sp.*, *Salvinia sp.*, *Pistia sp.* e *Utricularia sp.* (Henry *et al.*, 1999); Barra Bonita (SP): *Alternanthera philoxeroides*, *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripara*, *Cyperus difformis*, *Echinochloa polystachya*, *Eichhornia crassipes*, *Enidra sessilis*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Ipomoea alba*, *Ludwigia elegans*, *Panicum rivular*, *Paspalum repens*, *Pistia stratiotes*, *Polygonum lapathifolium*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia molesta* e *Typha angustifolia* (Carvalho *et al.*, 2003); Jupiá (SP/MS): *Egeria densa*, *Egeria najas*, *Ceratophyllum demersum*, *Typha latifolia*, *Eichhornia azurea*, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* (Marcondes *et al.*, 2003) e Itaipu Binacional (Brasil/Paraguai): *Urochloa plantaginea*, *Ludwigia suffruticosa*, *Eleocharis filicumis*, *Egeria najas*, *Nymphaea sp.*, *Nitella acuminata*, *Eichhornia crassipes*, *Chara guairensis*, *Egeria densa* e *Nitella furcata* (Thomaz *et al.*, 2003).

Um exemplo do uso da fitorremediação em ambiente controlado é apresentado por Martins (2005) e mostra a capacidade do *Polygonum hydropiperoides* e *Thypha domingensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na região da bacia do Iraí no estado do Paraná, no qual as espécies apresentaram como resultado um bom potencial para remoção do P e N.

Hussar (2008) apresenta em seu trabalho a avaliação do desempenho de lagoas de aguapé para o tratamento da água de tanques de piscicultura e observa uma eficiência satisfatória e favorável no uso da fitorremediação para o tratamento deste sistema.

Pompêo (2008) corroborando com outros autores torna evidente em seu trabalho a importância das macrófitas na estruturação da dinâmica dos ecossistemas aquáticos e dá ênfase na discussão sobre seu manejo e controle, particularmente em reservatórios empregados para o abastecimento público.

Beltrão (2006) também faz o uso da fitorremediação em ambiente controlado e desenvolve um sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de líquidos lixiviados do aterro sanitário da Muribeca, em Pernambuco, onde foram construídas duas células em um sistema experimental na forma de lagoas nas quais foram colocadas em um leito de pedras as plantas aquáticas emergentes do tipo *Thypha domingensis* e também barreiras reativas de solo permeável. A pesquisa concluiu que o sistema é viável como tratamento terciário de líquidos lixiviados, no entanto, não apresenta eficiência na remoção de metais.

CONCLUSÕES

O Brasil é um país privilegiado em recursos hídricos superficiais de água doce. Entretanto, esse sistema é bastante frágil. Vários são os poluentes descartados no ambiente aquático, incluindo metais traço, óleos, pesticidas, corantes, tensoativos, entre outros (Braile *et al.*, 1993).

Também é grande no Brasil a diversidade de plantas aquáticas e seu potencial uso na fitorremediação. Algumas espécies comuns nos rios e lagos do país são: aguapés, lírio d'água, jacinto d'água, baronesa, alface d'água, erva de sapo, potamogeton, entre outras popularmente conhecidas. No entanto, quando o meio aquático em que elas vivem recebem elevadas concentrações dos nutrientes N e P, as macrófitas apresentam elevada capacidade de reprodução e, nestas situações tais espécies são consideradas infestantes e nocivas.

O uso de plantas como agentes remediadores de áreas contaminadas através da fitorremediação é uma técnica emergente, sendo necessários estudos sobre sua tolerância, capacidade de sorção e distribuição dos contaminantes nas plantas para que obtenha sucesso nos programas desta natureza.

Assim, existe no Brasil uma perspectiva francamente favorável ao crescimento da demanda por tecnologias de remediação ambiental, entre as quais a fitorremediação, que deverá despontar em muitas situações pela viabilidade técnica e econômica de sua aplicação (Andrade *et al.*, 2007).

AGRADECIMENTOS

À DEFLOR Bioengenharia Ltda, pelo apoio à pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo contínuo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, E.; CARDOSO, L.R.; SCAVRONI, J.; FERREIRA, L.C.; BOARO, C.S.F.; CATANEO, A.C. Avaliações biológicas e bioquímicas de plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*) cultivadas com níveis excessivos de nutrientes. Planta Daninha: Viçosa- MG. V.21, p.27-35, 2003.
2. ANDRADE, J.C.M.; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
3. BELTRÃO, K.G.Q.B.; Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolado. Tese. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
4. BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias. São Paulo: CETESB, 1993.
5. CARVALHO, F.T.; GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.D.; MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Barra Bonita, no Rio Tietê. Planta Daninha; Viçosa - MG, v.21, p.15-19, edição especial, 2003.

6. DE FELLIPO, R. Colonização e regressão da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Serra da Mesa - Goiás. In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas, Maringá, Eduem, Brasil, p.281-297, 2003.
7. HENRY, R.; NOGUEIRA, M.G. A represa de Jurumirim (São Paulo): Primeira síntese sobre o conhecimento limnológico e uma proposta preliminar de manejo ambiental. In: HENRY, R. Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. Botucatu, FAPESP/FUNDBIO, Brasil, 653-685, 1999.
8. HUSSAR, G.J.; BASTOS, M.C. POMPEO, M. POMPEO, M. Tratamento de efluentes de piscicultura com macrófitas aquáticas flutuantes. Engenharia Ambiental- Espírito santo do Pinhal. V.5, n.3, p.274-285, set/dez, 2008.
9. MARCONDES, D.A.S.; MUSTAFÁ, A.L.; TANAKA, R.H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá, Eduem, Brasil, p.299-317, 2003.
10. MARTINS, A.P.L. Capacidade do Polygonum hydropiperoides e Thypha dominguensis na Fitorremediação de Efluentes de Tanques de Piscicultura na Região da Bacia do Iraí. Dissertação: Universidade Federal do Paraná. Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, 2005
11. NEVES, T.; FOLONI, L.L.; PITELLI, R.A. Controle químico do aguapé (Eichhornia crassipes). Planta Daninha: Viçosa- MG. V.20, p.89-97, 2002.
12. PETRERE, M.J.; RIBEIRO, M.C.L.B. The impact of a large tropical hydroelectric dam: the case of Tucuruí in middle river Tocantins. Acta Limnologica Brasiliensia, v.5, p.123-134, 1994.
13. PILON-SMITS, E. Phytoremediation. Annu. Rev. Plant Biol. v.56, p.15-39, 2005.
14. POMPEO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. O ecol. Bras., v.12 (3), p.406-424, 2008.
15. PROCÓPIO S.O.; PIRES, F.R., SANTOS, J.B., SILVA, A.A. Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2009.
16. SILVA, G.G.H.; CAMARGO, A.F.M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.2, p.181-188, 2007.
17. TAVARES, K.S.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; DORNFELD, C.B. Composição taxonômica da comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório de Salto Grande -Americana, SP. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; LEITE, M.A.; DORNFELD, C.B. Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, impactos e propostas de manejo. São Carlos, RIMA, Brasil: 239-252, 2004.
18. THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. Acta Limnologica Brasiliensia. V.10 (1), p.103-116, 1998.
19. THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; PAGIORO, T.A. Macrófitas aquáticas em Itaipu: ecologia e perspectivas para o manejo. In: THOMAZ, S.M.; BINI, M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá, Eduem, Brasil: p.319-341, 2003.