

FITORREMEDIAÇÃO

Ana Lígia Dinardi; Vanessa Moraes Formagi; Cassiana M. R. Coneglian; Núbia Natália de Brito; Geraldo Dragoni Sobrinho; Sandro Tonso e Ronaldo Pelegrini.

Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP
Rua Paschoal Marmo, 1888 - CEP: 13484-370 - Limeira - SP
Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental
Laboratório de Pesquisas Ambientais – LAPA
lapa@ceset.unicamp.br

RESUMO

A fitorremediação utiliza sistemas vegetais para recuperar águas e solos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esta área de estudo, embora não seja nova, tomou impulso nos últimos dez anos, quando se verificou que a zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas exógenas. A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função de utilizar moléculas poluentes como fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que cohabitam nesta região. Este artigo, apresenta uma das alternativas para a despoluição ambiental que utiliza os sistemas vegetais e sua microbiota com o fim de remover, capturar ou degradar substâncias tóxicas do ambiente.

Palavras-chave: Fitorremediação, fitodegradação, rizofiltração, aguapé, macrófitas.

INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas contaminadas, pelas atividades humanas, pode ser feita através de vários métodos, tais como escavação, incineração, extração com solvente, oxidoredução e outros que são bastante dispendiosos. Alguns processos deslocam a matéria contaminada para local distante, causando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento [1]. Por isso, em anos recentes passou-se a dar preferência por métodos in situ que perturbem menos o ambiente e sejam mais econômicos. Dentro deste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota com o fim de desintoxicar ambientes

degradados ou poluídos [1].

As substâncias alvos da fitorremediação incluem metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO₃-NH₄⁺, PO₄³⁻), elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX), pesticidas e herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados (TCE, PCE) e resíduos orgânicos industriais (PCPs, PAHs), entre outros [1].

A fitorremediação oferece várias vantagens que devem ser levadas em conta. Grandes áreas podem ser tratadas de diversas maneiras, a baixo custo, com possibilidades de remediar águas contaminadas, o solo e subsolo e ao mesmo tempo embelezar o ambiente. Entretanto, o tempo para se obter resultados satisfatório pode ser longo [1]. A concentração do poluente e a

presença de toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta usada para não comprometer o tratamento. Riscos como a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar, devem ser considerados quando empregar esta tecnologia [1]

DESENVOLVIMENTO

Potencial econômico da fitorremediação

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 - 30 bilhões de dólares. Este mercado, que já estável nos Estados Unidos (7 - 8 bilhões), tende a crescer no Brasil uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são aplicadas. Apesar das pressões, são as tecnologias mais baratas com capacidade de atender uma maior demanda e que apresentam mais capacidade de desenvolvimento que tendem a obter maior sucesso no futuro.

Nos últimos 10 anos, surgiram nos EUA e Europa inúmeras companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a norte americana Phytotech e a alemã BioPlanta, e indústrias multinacionais, como Union Carbide, Monsanto e Rhone-Poulanc, que empregam fitoremediação em seus próprios sítios contaminados [2]. Várias universidades desenvolvem projetos ligados a esta área, como a Universidade da Califórnia e a Universidade de Glasgow [2]. No Brasil, sabe-se que algumas empresas estatais e privadas, bem como

instituições acadêmicas (Unicamp, por exemplo) pesquisam e exploram métodos de biorremediação através da fitoremediação [3].

O sucesso do tratamento empregando plantas aquáticas vai além do baixo custo, há muitas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas pra uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas, etc. [2].

Fitorremediação — Denominações

A fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente. Assim, a fitoremediação pode ser compreendida em:

•**Fitoextração:** envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas (Figura 1a/b). É aplicada principalmente para metais (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb) podendo ser usada também para outros compostos inorgânicos (Se) e compostos orgânicos [4]. Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que tem a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal). As espécies de *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii* e *Thlaspi caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu/Co, Ni e Zn respectivamente [4].

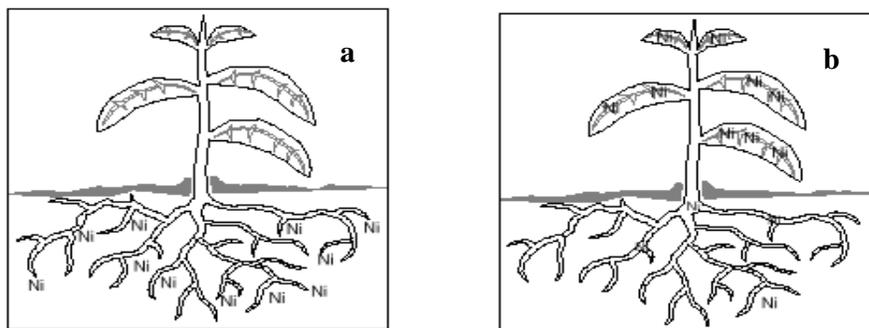


Figura 1 – Esquema dos mecanismos de Plantas Hiperacumuladoras: (a) contaminantes no solo; (b) contaminantes adsorvidos pela planta.

•**Fitoestabilização:** os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo precipitando os metais são sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz [1]. Objetiva evitar a mobilização do conta-minante e limitar sua difusão no solo, através de uma cobertura vegetal [1]. Exem-plos de plantas cultivadas com este fim são as espécies de *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum* [5].

•**Fitoestimulação:** as raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia [5]. Além disso, as plantas podem secretar elas próprias enzimas biodegradativas [5]. A aplicação da fitoestimulação limita-se aos conta-minantes orgânicos [6]. A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea devido à distribuição espacial variável dos nutrientes nesta zona, porém os *Pseudomonas* são os organismos predominantes associados as raízes [6].

•**Fitovolatilização:** alguns íons de elementos dos subgrupos II, V e VI da Tabela periódica, mais especificamente, mercúrio, selênio e arsênio, são

absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois liberados na atmosfera [6]. Este mecanismo é empregado também para compostos orgânicos [6].

•**Fitodegradação:** os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas (Figura 2). Entre essas enzimas destacam-se as nitroreductases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas) [1]. *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem tais sistemas enzimáticos [1].

•**Rizofiltração:** é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radiativos, através do seu sistema radicular [2]. As plantas são mantidas num reator sistema hidropônico, através do qual os efluentes passam e são absorvidos pelas raízes, que concentram os contaminantes [2]. Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos) são as mais satisfatórias, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para esta tecnologia [2].

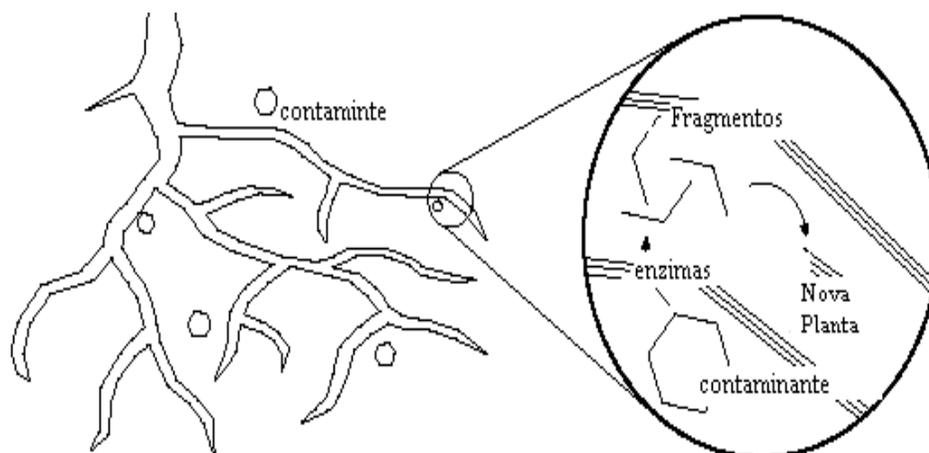


Figura 2 – Esquema da Fitodegradação de Poluentes.

•**Rizofiltração:** é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radiativos, através do seu sistema radicular [2]. As plantas são mantidas num reator sistema hidropônico, através do qual os efluentes passam e são absorvidos pelas raízes, que concentram os contaminantes [7]. Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos) são as mais satisfatórias, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para esta tecnologia [2].

•**Barreiras hidráulicas:** algumas árvores de grande porte, particularmente aquelas com raízes profundas (Ex: *Populus sp.*), removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis aquáticos subterrâneos a qual é evaporada através das folhas [8]. Os contaminantes presentes na água são

metabolizados pelas enzimas vegetais, vaporizados junto com a água ou simplesmente aprisionados nos tecidos vegetais [8].

•**Capas vegetativas:** são coberturas vegetais, constituídas de capins ou árvores, feitas sobre aterros sanitários (industriais e municipais), usadas para minimizar a infiltração de água da chuva e conter a disseminação dos resíduos poluentes, evitando que o lixo fique a céu aberto [8]. As raízes incrementam a aeração do solo, promovendo a biodegradação, evaporação e transpiração [2].

•**Açudes artificiais:** são ecossistemas formados por solos orgânicos, microrganismos, algas e plantas aquáticas vasculares que trabalham conjunta-mente no tratamento dos efluentes, através das ações combinadas de filtração, troca iônica, adsorção e precipitação [9]. É o mais antigo método de tratamento dos esgotos

municipais e industriais e não é considerado como fitorremediação, pois

se baseia nas contribuições de todo sistema [2].

FITORREMEDIAÇÃO

Utilização de plantas aquáticas para tratamento de água:

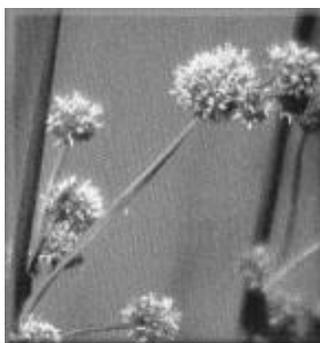
A utilização de plantas aquáticas como “agente purificador” em hidroponia, justifica-se pela sua intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, como também por oferecer facilidades de sua retirada das lagoas e ainda pelas amplas possibilidades de aproveitamento da biomassa escolhida

[10]. Além disso, podem ser cultivadas plantas visando a produção de alimentos que podem ser aproveitados tanto por animais como pelo próprio homem [11].

Plantas aquáticas, hidrófitas, como as macrófitas providas de rizomas, têm sido utilizadas visando à melhoria da qualidade de efluentes e no tratamento de águas residuais, principalmente no que diz respeito à redução das concentrações de nitrogênio e fósforo [5] (Figuras 3a – 3f).



(a) *Typha angustifolia*
(Taboa)



(b) *Scirpus holoschoenus*



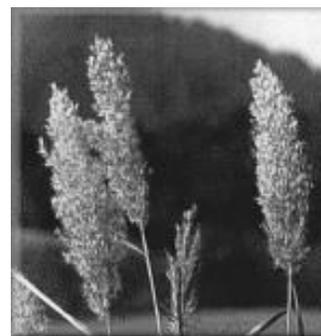
(c) *Cyperus longus* - junça-longa



(d) *Juncus acutus* - junco agudo



(e) *Iris pseudacorus* - lírrio amarelo



(f) *Phragmites australis* - caniço

Figura 3 - Plantas aquáticas (hidrófitas) providas de rizomas [8]

Um exemplo de plantação de macrófitas feita em pequenas lagoas, realizada pela Estação de Tratamento de

Água (E.T.A.R.) de Bodiosa – Portugal (Figura 4), onde as lagoas são designadas por leitos de macrófitas [5]:

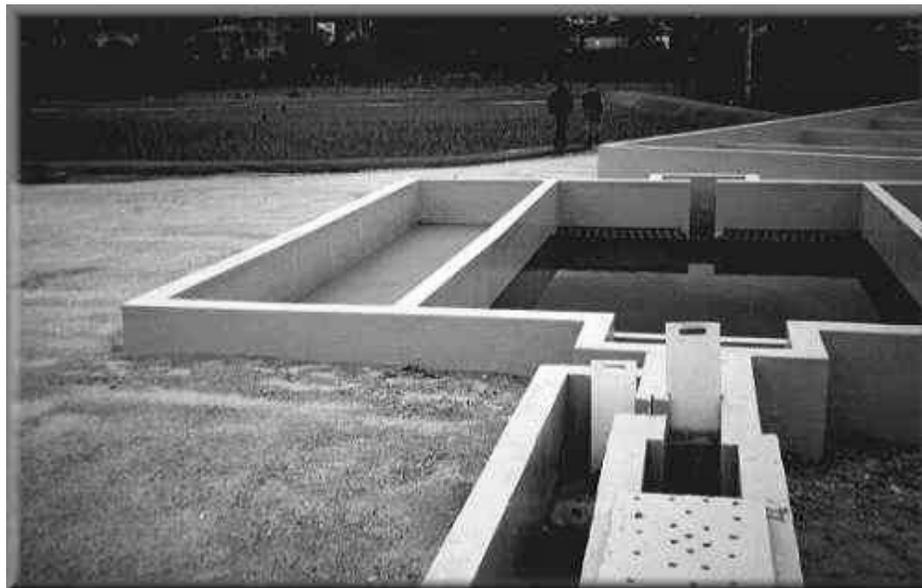


Figura 4 – E.T.A.R. de Bodiosa – Viseu – Portugal (lagoa de macrófitas emergentes com plantas previamente enraizadas em viveiro)

Sistemas de Tratamento com Macrófitas.

Diversos sistemas de lagoas para aplicação das macrófitas podem ser constituídos dependendo das características de cada planta ou do sistema de lagoa que se deseja empreender.

• *Sistemas baseados em macrófitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres)*. Trata-se de plantas com seus tecidos fotossintéticos flutuantes e com raízes longas livres ou enraizadas, dependendo da profundidade do meio a ser tratado (Figuras 5).

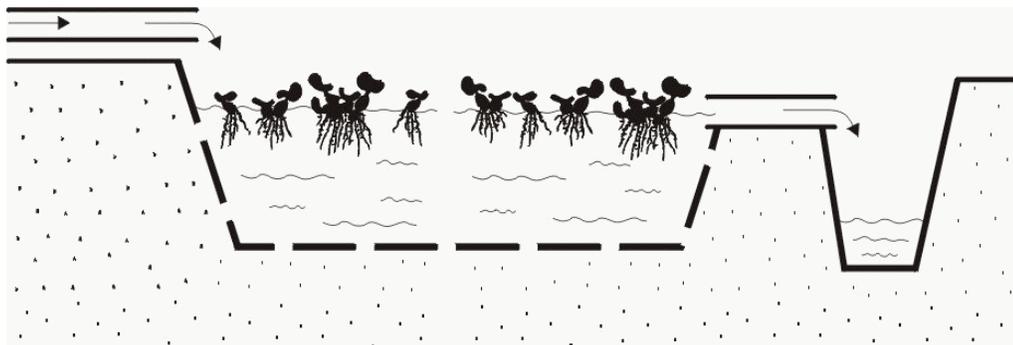


Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuais baseado em macrófitas aquáticas livremente flutuantes. Ilustra-se a espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé) [12].

• **Sistemas baseados em macrófitas submersas;** Tratam-se de plantas com os seus tecidos fotossintéticos completamente imersos [5]. As principais espécies que integram este tipo são: *Elodea canadensis*, *Elodea nuttali*,

Egeria densa, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum heterophyllum*, *Potamogeton* spp [5], (Figura 6).

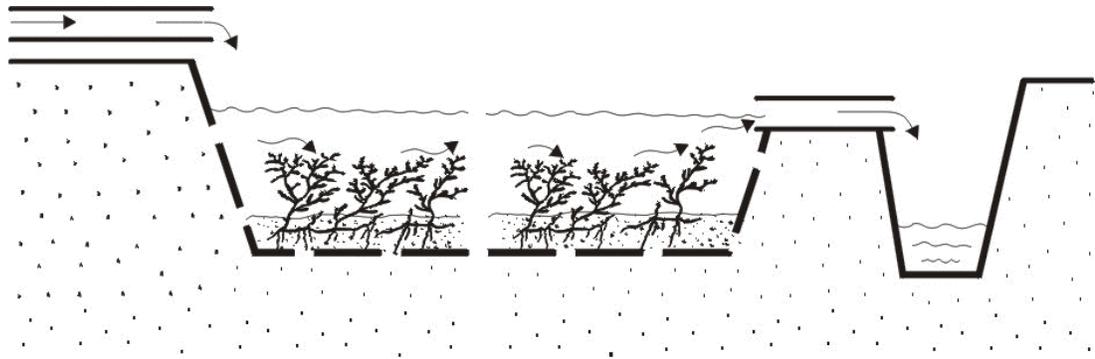


Figura 6 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuais baseado em macrófitas aquáticas submersas. Ilustra-se a espécie *Elodea canadensis* [12]

• **Sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes.** Na concepção de um sistema de tratamento é possível optar por um destes tipos, isoladamente, ou combiná-los, seja entre si, seja com órgãos de sistemas convencionais de depuração [5], (Figura 7).

O aguapé

Fitotratamento com aguapé:

Todas as macrófitas exercem importante papel na remoção de substâncias dissolvidas, assimilando-as e incorporando-as à sua biomassa, porém a espécie *Eichhornia crassipes*, o aguapé, tem sido a hidrófita mais estudada para o tratamento de água com plantas [5,12], (Figura 8).

Embora exista farta literatura sobre plantas aquáticas, especialmente do aguapé; segundo [13]. Há mais de 1000 artigos, os mais diversos possíveis,

referentes a *Eichhornia crassipes*; o aguapé é muitas vezes apresentado como “praga” e outras como agente despoluidor [13]

Quando o aguapé é cultivado de forma correta do ponto de vista técnico-científico, ele pode ser um agente de despoluição (Figura 9). Quando, no entanto, a planta cresce de forma descontrolada e sem manejo adequado, pode se transformar num problema ambiental [13].

Para entender a problemática do aguapé é necessário, considerar que:

- O aguapé é uma planta aquática flutuante que se desenvolve muito bem nas regiões de clima quente seu desenvolvimento é acelerado quando não existem limitações nutricionais, como é o caso das águas das lagoas e represas que são poluídas por esgoto

urbano e alguns tipos de efluentes industriais [14, 15].

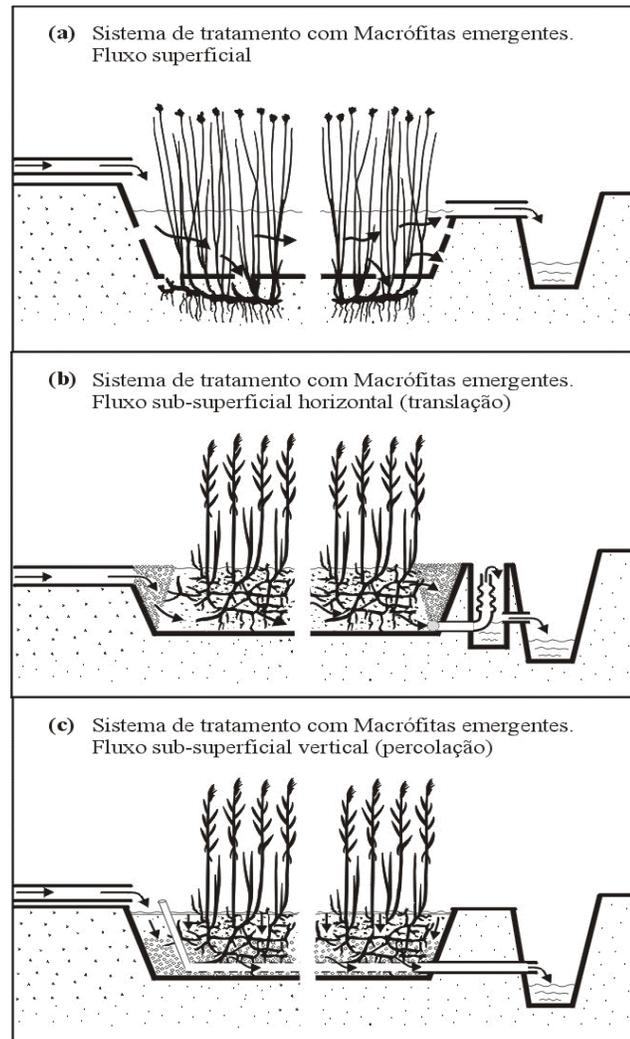


Figura 7 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuais baseado em macrófitas aquáticas emergentes: (a) fluxo superficial, ilustra-se a espécie *Scirpus lacustris*; (b) fluxo sub-superficial horizontal, ilustra-se a espécie *Phragmites australis*; (c) fluxo sub-superficial vertical (percolação), ilustra-se a espécie *Phragmites australis* [12]

- A biomassa de uma plantação de aguapé varia bastante (média para o Brasil da ordem de 250 a 300 toneladas por hectare). A taxa de crescimento também é variável [5]. Em condições ótimas chega em média a 5% ao dia. Assim, se o crescimento estiver nas condições ótimas, a produção será de aproximadamente 15

toneladas de biomassa úmida por dia por hectare [5].

- O sistema radicular do aguapé funciona como um filtro mecânico e retém (adsorve) material particulado (orgânico e mineral) existentes na água, e cria um ambiente rico em atividades de fungos e bactérias, passando a ser um agente de

despoluição, reduzindo a DBO, a taxa de coliformes e a turbidez das águas



Figura 8 - *Eichhornia crassipes* (aguapé) [8].



Figura 9 - Lagoa de aguapé (cultivo) [8].

- Além da diminuição da carga orgânica, o aguapé retira da água (adsorve) elementos químicos minerais dos quais se nutre, diminuindo suas concentrações, especialmente, de nitrogênio e fósforo.

Os poluentes são removidos numa lagoa com aguapé por vários mecanismos físicos químicos e biológicos característicos do sistema. A sedimentação que ocorre na lagoa é mais eficiente pela proteção ao movimento das águas oferecida pela cobertura compacta de aguapé [16]. Já a filtração dos sólidos suspensos pelas raízes do aguapé, é um dos mais importantes processos para o polimento

poluídas [5].

da lagoa deve ser suficiente para que as raízes não se agarrem ao fundo, de tal forma que o fluxo da lagoa seja filtrado através da zona radicular [11].

O aguapé é capaz de retirar quantidades consideráveis de fenóis, metais pesados e outras substâncias tais como 0,7 mg de Cd/Os (peso seco) e 0,5 mg de Ni/g de peso seco (PS) [6]. *Eichhornia azurea* absorve ortofosfatos na ordem de 14,56 a 58,58 mg/g/h e de 60,65 a 239,92 mg/g/h de nitrogênio. Pode-se considerar uma boa estimativa 1,33 a 3,33 porcentagem de PS de nitrogênio, 0,14 a 0,80 % PS de fósforo e de 1,60 a 6,70 % PS de potássio presentes na biomassa de *E. crassipes* [6]. Como em uma unidade de fitodepuração de 1500 m² é provável uma retirada mensal de biomassa do aguapé da ordem de 0,45 a 0,65 tPS [16], utilizando-se dos valores estimados é possível uma remoção de 0,6 a 5,2 kg de fósforo, 0,6 a 216,4 kg de nitrogênio de 7,2 a 43,5 kg de potássio [6]. Através dos resultados apresentados [17], pode-se também viabilizar a utilização de plantas aquáticas visando à depuração de efluentes contendo herbicidas como atrazine, 2,4-D, trifluralin e glyphosate. Apesar de não ter obtido uma solução apta para o descarte, GRANATO (1995) [10], comenta que o aguapé pode ser utilizado para tratar efluente contendo cianetos.

Fitotratamento com *Beterraba (Beta Vulgaris L.)*

A beterraba é uma hortaliça que requer alta concentração de macronutrientes (especialmente P, K e Mg), principalmente em sua parte aérea,

porém sua concentração de micronutrientes é ainda maior tanto em sua parte aérea quanto na raiz [18]. Estes dados indicam que a beterraba irá absorver grandes quantidades desses componentes presentes no solo ou águas residuárias empregadas em irrigações [19].

Fitotratamento com Rabanetes (*Raphanus sativus L.*)

As concentrações em macro e micronutrientes no rabanete são elevadas, tanto na raiz como na parte aérea, sendo considerada uma planta exigente em nutrientes. Esta planta é empregada principalmente na extração de Fe, Mg, Zn e Cu [18,20].

Fitotratamento com Cenoura (*Dacus Carota L.*)

A cenoura exige solos férteis e bem estruturados para sua produção, fazendo da matéria orgânica um fator importante em sua cultura. Estudos constataram maior presença de β caroteno em cenouras cultivadas organicamente. Este tipo de fitotratamento é recomendado para áreas que apresentarem contaminação com matéria orgânica [18, 21].

Fitotratamento com Alface (*Lactuca sativa*)

As espécies olerícolas possuem grande capacidade de extração do solo e, dentre elas, a alface é considerada a principal acumuladora de metais pesados (principalmente Zn, Cu, e Pb). Este acúmulo ocorre basicamente na parte aérea da planta [22,23].

Estudos têm comprovado que a alface pode também apresentar acúmulo significativo de metais pesados Cd e Na [18].

Exemplos de Aplicações da Fitorremediação

Tratamento de chorume por Fitorremediação:

O chorume é o nome dado ao líquido escuro e turvo proveniente do armazenamento e repouso do lixo. Resultado da passagem da água através dos resíduos em processo de decomposição que arrasta todo tipo de material sendo um dos mais sérios problemas ambientais dos aterros sanitários [24].

O chorume pode ser tratado por processo de fitorremediação tanto na sua parte líquida, através do aguapé (Figura 10) quanto por meio da irrigação, empregando fitotratamento com tubérculos (beterraba, cenoura e rabanete) e espécies folhosas (alface) [18].

Para crescer, as plantas necessitam de 16 elementos químicos, considerados essenciais, e de outros que embora não essenciais, tem efeitos positivos sobre o desenvolvimento dos vegetais. Dos 16 elementos químicos, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B e Cl) são retirados do solo; o C, o H e o O são retirados do ar na forma de gás carbônico e água. Estes nutrientes podem ser encontrados em grandes concentrações no chorume [7].

O Co, o Ni, o Si, o V e o Cd são considerados benéficos ao crescimento das plantas e também podem ser encontrado no chorume [24].

A remoção dos metais pesados pode ser eficientemente realizada através da fitorremediação [5]. Após a saturação, os metais podem ser recuperados na biomassa regenerada [24]. Vários ciclos de minerais poderiam ser obtidos por meio de sorção/dessorção empregando plantas [24].

Esta técnica apresentaria custos

reduzidos devido empregar recursos naturais e disponíveis. As macrófitas após secagem apresentam massa muito baixa facilitando a recuperação de metais.



Figura 10 - Lagoa de aguapés para tratamento de chorume

Controle de erosão e disseminação de Metais Pesados no solo:

Depois de várias tentativas frustradas para conter as erosões e a disseminação de metais pesados oriundos dos rejeitos do processo industrial, foram feitos vários estudos e a fitorremediação passou a ser estudada como alternativa [7], (Figura 11).

Especialistas em Química e Biologia do Solo e Nutrição Vegetal da Ufla uniram esforços para diagnosticar o nível de contaminação de 18 hectares degradados e estudar uma estratégia de reabilitação. Depois de cinco anos de pesquisa nos laboratórios da Ufla e testes de campo na CMM, chegou-sea conclusão de que o melhor meio seria o tratamento com plantas e substituição do solo contaminado. O processo consiste basicamente em retirar a terra contaminada de valas paralelas e de

uma camada superficial de toda a área e substituí-la por solo não-contaminado para implantar dois tipos de vegetação: arbórea sobre as valas e herbácea (gramíneas) nos três metros que separam uma da outra. Na superfície do solo contaminado entre as valas, é utilizado um "filtro químico" – uma camada de calcário de aproximadamente 2 cm de espessura, que evita que o metal passe para o solo sem contaminação, preservando, assim, a vegetação implantada [7].

Para chegar ao tratamento ideal, várias etapas foram desenvolvidas ao longo da pesquisa. O primeiro passo foi selecionar e delimitar os locais de estudo. Em seguida, os pesquisadores fizeram a coleta, o transporte e o preparo do solo, para realizar as análises químicas e os testes microbiológicos e da flora [7].

A partir daí, foi determinado o grau de toxidez do solo e, só então, iniciados os testes de campo. A calagem (amenização com uso de calcário) foi escolhida de acordo com as características da terra – que apresentou altos teores de metais pesados, principalmente zinco e cádmio – e pelo fato do calcário ser um insumo barato, muito utilizado no Brasil. O filtro químico de calcário atua elevando o pH

para tornar o metal solúvel (não disponível no solo) [6]. Os metais não alteram suas propriedades químicas, apenas variam entre as formas insolúvel e solúvel, esta última, a ideal para absorção pela vegetação. Dois fatores são determinantes na seleção das plantas para ocupar a área contaminada: a capacidade de absorção e tolerância aos metais pesados [6].

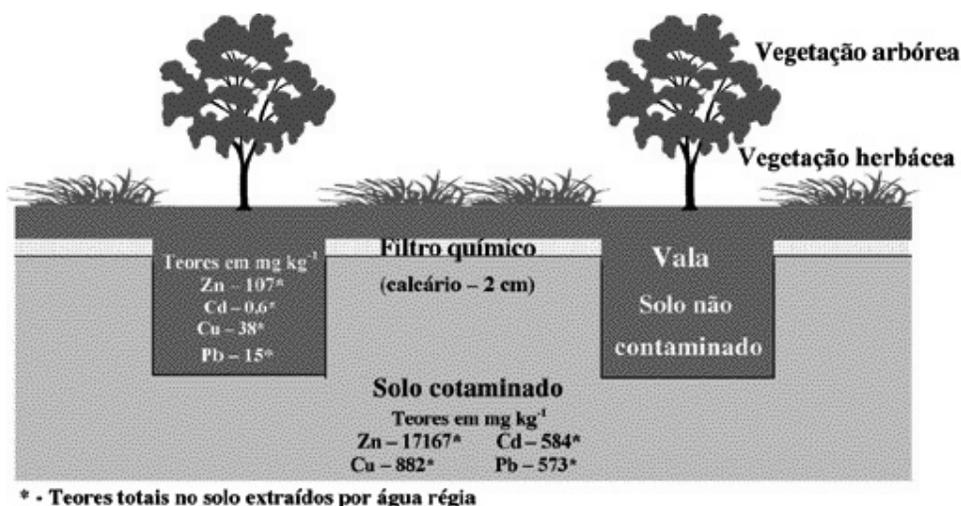


Figura 11 – Aplicação da Fitorremediação em recuperação de solo contaminado.

Ao analisar diversas espécies de árvores, os pesquisadores escolheram aquelas que conseguiam crescer e se desenvolver mesmo acumulando metal em suas partes. Destacaram-se duas espécies de eucalipto, (Figura 12) a herbácea *Pfaffia* (nome comum calaminácea) e uma crucífera, a *Brassica sp.* A *Pfaffia* é uma planta selvagem, rara, hiperacumuladora de cádmio, encontrada nas áreas de

mineração da Companhia em vazante. Essa descoberta foi um dos grandes méritos das análises em laboratório, A mesma espécie poderá ser utilizada na recuperação de outros solos contaminados por cádmio. Dessa forma, a erosão e a disseminação dos metais no solo são contidas, mas a área recuperada jamais será própria para uso agrícola [7].



Figura 12 - Eucalipto em solo contaminado sem filtro de calcário (esquerda) e com o filtro (direita).

Conclusão

A fitorremediação mostra-se como o avanço da biotecnologia para tratamento de solo e água que vem sofrendo agressões antropogênicas. A técnica já sofreu avanços significativos quanto à natureza dos agentes poluidores surgindo assim uma gama de métodos de fitorremediação como demonstrado neste artigo.

O tema abordado cresce em dificuldade na medida que visa não só reconstruir, remediar, mas fazê-lo segundo as leis naturais da construção.

Ou seja, valer-se dos próprios meios que a natureza idealizou para defender-se.

Atualmente dá-se preferência as técnicas de descontaminação *in situ*, por perturbar menos o meio ambiente, técnicas que sejam mais econômicas e que apresentem facilidades de aplicação. Estas são as principais vantagens da Fitorremediação, além de poder ser aplicada a grandes áreas pode-se também tratar diversos poluentes orgânicos e inorgânicos.

BIBLIOGRAFIA:

[1] CUNNINGHAM, S. D., Anderson, T. A., Schwab, P. and Hsu, F. C., Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Adv. Agron. (56) p.55 (1996).

[2] GLASS, D. J The 1998 United States Market for Phytoremediation, D. Glass Associates, Needham, p.139 (1998)

[3] www.agr.unicamp.br - Faculdade de Engenharia Agrícola.

[4] MCGRATH, S.P. Phytoextraction for soil remediation. In Brooks, R. R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, p.261 (1998).

[5] <http://vivimarc.sites.uol.com.br/hidroponia.htm>: Hidroponia e as macrófitas aquáticas.

[6] BROOKS, R. R Phytoremediation by volatilisation. In Brooks, R.R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, p.289 (1998).

- [7] <http://revista.fapemig.br/9/meioambiente.html>: Metais pesados.
- [8] <http://www.hortirelva.pt/etares.htm>
- [9] <http://www.geocities.com/SiliconValley/Drive/5014/branci3.html>
- [10] **GRANATO, M.** Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, Série Tecnologia Ambiental v.5 p.1 (1995).
- [11] **BRANCO, S.M., BERNARDES, R.S.** Culturas hidropônicas como forma de remoção e reciclagem de nutrientes minerais dos efluentes de sistemas de tratamento de esgotos. Revista. DAE, v. 134, p. 113 (1983).
- [12] **MOSSE, R.A; CHAGAS; J.M.; TERRA, A.R.S.** Utilização de lagoas de maturação com aguapé (*Eichhornia crassipes*) na remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. Eng. Sanit.; v. 19 (1), p. 72 (1980).
- [13] **MANFRINATO, E.S.** O aguapé-fatos e fofocas. In: Problemas Ambientais Brasileiros, Fundação Salim Farah Maluf, p. 109 (1991).
- [14] **JUNK, W.J., HOWARD-WILLIAMS, C.** Ecology of aquatic macrophytes in Amazônia. In: H. Sioli (ed). The Amazon: Limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin. p.270 (1984).
- [15] **RIBEIRO, M.D., KAWAI, H., TINEL, P.R., ROSSETO, R.** Experimento-piloto da lagoa de aguapé para tratamento de esgoto bruto. Revista DAE, v. 46 (144) p. 82 (1986).
- [16] **RODRIGUES, N.S.** Aguapé uma alternativa no tratamento de esgotos. Pau-Brasil.v.5, p. 9 (1985).
- [17] **SANTOS, D.M.M.** Estimativa da concentração letal (CL50) de cinco herbicidas na macrófita aquática *Salvinia mínima* Baker. In: II CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, Londrina: UEL, Resumos. (1994).
- [18] **HAAG, H.P.; MINAMI, K.** Nutrição mineral de hortaliças *Requerimento de nutrientes pela cultura da beterraba*. 2^A. edição , Fundação Cargill, Campinas, p. 52 (1988).
- [19] <http://www.pontin.com.br/beterraba.htm>. Balcach, A. *A flora nacional na medicina—A beterraba*.
- [20] <http://www.pontin.com.br/rabanete.htm> Balcach, A. *A flora nacional na medicina—O rabanete*
- [21] <http://www.pontin.com.br/cenoura.htm> Balcach, A. *A flora nacional na medicina—A cenoura*.
- [22] <http://www.pontin.com.br/alface.htm>: Balcach, A. *A flora nacional na medicina—A alface*
- [23] **COSTA, Cândido Alves da.** Crescimento e teores de Na e metais pesados da alface e da cenoura adubada com composto orgânico de lixo urbano. Viçosa: UFV, p.89 (tese M.S.) (1994).
- [24] <http://www.quimica.ufpr.br/~tecnorat/chorume.htm>: Chorume. On Line

