

**Universidade Estadual do Rio Grande do Sul**  
**Bacharelado em Gestão Ambiental**  
**BIOINDICADORES AMBIENTAIS**  
**Sessão 4**

Professor Antônio Ruas

1. **Fitorremediação.**
2. **Exercício complementar.**

- **1. Fitorremediação e Biorremediação.**
- Embora haja alguma diferença, os dois conceitos convergem.
- Encontramos na literatura que Biorremediação é o processo geral que recupera ecossistemas degradados com a utilização de organismos variados, microorganismos, fungos, algas verdes e plantas. Quando forem utilizadas plantas, passa a ser chamado de Fitorremediação.
- Estes organismos podem filtrar, metabolizar, decompor ou acumular os poluentes em seus organismos, para que assim o ambiente possa retornar a sua condição original.
- Por exemplo, bactérias vem sendo usadas para decompor derivados cianídricos em processos de extração de ouro ou mesmo para extrair os minerais das rochas, quando o processo também é chamado de biolimpeza.

## ■ 2. Fitorremediação

- A utilização de vegetais para a biorremediação é um processo bastante estudado e em aplicação em vários países.
- É uma alternativa que emprega sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota para o tratamento e a descontaminação de águas e solos com poluentes orgânicos e inorgânicos na sua porção superficial.
- Trata-se de alternativa ecológica e eficiente no caso do solo para a escavação, incineração, extração com solvente, oxidoredução, etc.

## ■ 2. Fitorremediação

- Vamos começar com dois vídeos disponíveis sobre a ação de plantas fitorremediadoras do solo contaminado, que podem ser assistidos no link da disciplina no Moodle, sobre a Fitorremediação em geral e sobre uma pesquisa preliminar.
- Também adiantamos que há muitas espécies citadas nos trabalhos variados sobre fitorremediação com plantas. Precisamos considerar que todas as plantas têm algum grau de acumulação de elementos e que as escolhidas são as hiper acumuladoras.

■

## ▪ 2. Fitorremediação

- Também há plantas que são usadas a partir de outro mecanismo de fitorremediação. Nem todos os nomes específicos são acompanhados normalmente dos nomes populares. A seguir, há uma relação de plantas citadas com esta finalidade (gênero ou espécie): *Brachiaria decumbens* (capim braquiária); *Brassica juncea* (mostarda); *Brassica* sp (canola); *Pfaffia glomerata* (fáfia); *Aelanthus biformifolius*; *Alyssum bertolonii*; *Thlaspi caerulescens*; *Populus nigra* (álamo); *Myriophyllum spicatum*; *Haumaniastrum*; *Eragrostis*; *Ascolepis*; *Gladiolus*; *Alyssum*; *Helianthus annuus* (girassol); *Elodea canadensis*, *Elodea nuttali*; *Ceratophyllum demersum*, *Typha dominguensis* (taboa);

## ■ 2. Fitorremediação

- *Scirpus californicus* e *S. lacustris* (junco); *Phragmites australis*; *Eichornia crassipes* (aguapé); *Panicum maximum* *Pennisetum purpureum* (capim-elefante); *Eleusine coracana* (capim-pé-de-galinha-gigante); *Sorghum bicolor* (sorgo); *Paspalum atratum* (capim-pojuca); *Zea mays* (milho); *Canavalia ensiformis* - feijão-de-porco; *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta) *Chlamydomonas* (alga); *Erythrina crista-galli* (mulungu, corticeira); *Leucaena leucocephala* (leucena); *Triticum aestivum* (trigo); *Quercus robur* (carvalho); *Larrea tridentate* (governadora, chaparral); Família *Salicaceae* (choupos, álamos, salgueiros) e *Hibiscus canibus* (hibisco);

- **3. Elementos e compostos importantes para a fitorremediação do solo**
- Metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se, Fe, Mn, Mo, Co, Al, Ag, Cd);
- Compostos inorgânicos;
- Elementos químicos radioativos;
- Hidrocarbonetos derivados de petróleo;
- Pesticidas e herbicidas;
- Explosivos;
- Solventes clorados;
- Resíduos orgânicos industriais.

## ■ 4. Objetivos da fitorremediação

- Tratar grandes áreas do solo a baixo custo.
- Remediar águas contaminadas,
- Recuperar o meio ambiente.
- Inativar os metais pesados que contaminam o solo. Alguns destes metais pesados já existem naturalmente no solo, mas, quando somados aos efeitos da ação humana, causam diversos problemas de saúde. Os contaminantes sujam o solo, a água e as plantas, fazendo com que as pessoas fiquem sujeitas a diferentes níveis de exposição tóxica.
- Evitar que os vegetais contaminados entrem em qualquer cadeia alimentar que envolva os seres humanos.

## ▪ 4.1 Fluxo dos metais pesados no solo.

- O destino final dos metais pesados é a sua deposição e soterramento em solos e sedimentos. Eles acumulam-se na camada superior do solo, sendo então acessíveis para as raízes das plantas.



- Figura 1:
- Imagem de solo.
- Fonte: Professor.

- **4.2 Reação nos fitorremediadores.**
- As raízes, ao absorverem e acumularem os metais, são os primeiros órgãos afetados pela contaminação, que pode acarretar em:
  - - Escurecimento, engrossamento e inibição do crescimento radicular;
  - - Clorose, manchas foliares e necrose na parte aérea da planta.
- Estes mecanismos de reação podem ser utilizados no processo de monitoramento da fitorremediação ou servir como bioindicação de solo contaminado.

## 4.3 Origem da contaminação do solo



### ■ Lixões

- Figuras 2, 3, 4:
- Imagem de lixão, esgoto e cemitério.
- 
- Fonte: Professor.

### ■ Esgotos e efluentes industriais



### ■ Cemitérios



## **Fertilizantes e pesticidas**

- Figura 5, 6: Imagens de aplicação de pesticida e de mineração de solo.
- Fonte: Professor.

## **Mineração e petrolífera**

## ■ 5. Mecanismos da Fitorremediação

### ■ 5.1 Fitoextração ou fitoacumulação:

- Os contaminantes são absorvidos pelas plantas e estocados no caule e folhas. Empregada para metais como Cd, Ni, Cu, Na, Pb, Se, etc. As plantas são hiperacumuladoras, podendo armazenar de 0,1 a 1% de metais no peso seco. Exemplos: *Brassica juncea*, *Aloanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii*, *Thlaspi caerulescens*.

### ■ 5.2 Fitodegradação:

- Os contaminantes são absorvidos pelas plantas que, através de seus processos metabólicos, quebram as moléculas do contaminante em produtos menos tóxicos, ou mineralizados nas células. As enzimas envolvidas são nitroredutases, (nitroaromáticos) desalogenases (solventes clorados e pesticidas), lacanases (anilinas). Exemplos *Populus* e *Myriophyllum spicatum*.

## ■ 5. Mecanismos da Fitorremediação

### ■ 5.3 Fitovolatilização.

- Contaminantes como Hg, Se, Ar, são absorvidos pelas raízes, inativados e liberados na atmosfera. Também serve para compostos orgânicos.

### ■ 5.4 Fitoestimulação.

- As raízes promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera. Isto promove a biodegradação microbiana. É aplicável para compostos orgânicos. Uma bactéria importante neste processo é *Pseudomonas*. É um processo próximo da biorremediação e é importante também para o ambiente aquático.

## 5. Mecanismos da Fitorremediação

### 5.5 Fitoestabilização:

- O poluente é imobilizado por meio de sua lignificação (na parede vegetal) ou humificação no solo. Os metais são precipitados e tornam-se insolúveis, ficando presos na matriz, não sendo mobilizados. Exemplos: *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum*.

### 5.6 Rizofiltração:

- Neste caso as raízes absorvem, concentram ou precipitam contaminantes, num meio aquoso artificial. É usada para metais pesados e elementos radioativos. As plantas são mantidas em sistemas hidropônicos. Exemplos: *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*.

- **5. Mecanismos da Fitorremediação**
- **5.7 Barreiras hidráulicas.**
  - Utiliza árvores de grande porte como a *Populus* (Álamo).
- **5.8 Capas ou tapetes vegetativos.**
  - Tapetes vegetativos, de capins ou árvores sobre aterros usado para diminuir a infiltração de água e conter a disseminação. Também atuam como fitorremediadores.
- **5.9 Açudes artificiais.**
  - Ação combinada de algas, plantas aquáticas e microrganismos em tanques destinados a depurar efluentes químicos. Serve para esgotos e despejos industriais.

## ■ 6. Fitorremediação no ambiente líquido.



- A utilização de plantas aquáticas (hidrófitas, macrófitas) como fitorremediadoras decorre da intensa absorção de nutrientes, pelo crescimento rápido, pela retirada facilitada e utilização da biomassa.

- Esta fitorremediação visa principalmente a redução da carga orgânica, do nitrogênio e fósforo.



## ■ 6. Fitorremediação no ambiente líquido.

■

■ Os sistemas podem conter:

■ - Macrófitas flutuantes (enraizadas ou livres). As flutuantes são: *Eichornia*, *Pistia*, *Salvinia*, *Azolla*, *Lemna*, etc.

■ As submersas: *Elodea canadensis*, *E. nuttali*; *Ceratophyllum demersum*, etc.

■ As emergentes (emergem no sistema): *Typha dominguensis* (Taboa) e *Scirpus californicus* (Junco); *Scirpus lacustris* (junco), *Phragmites australis*, etc.

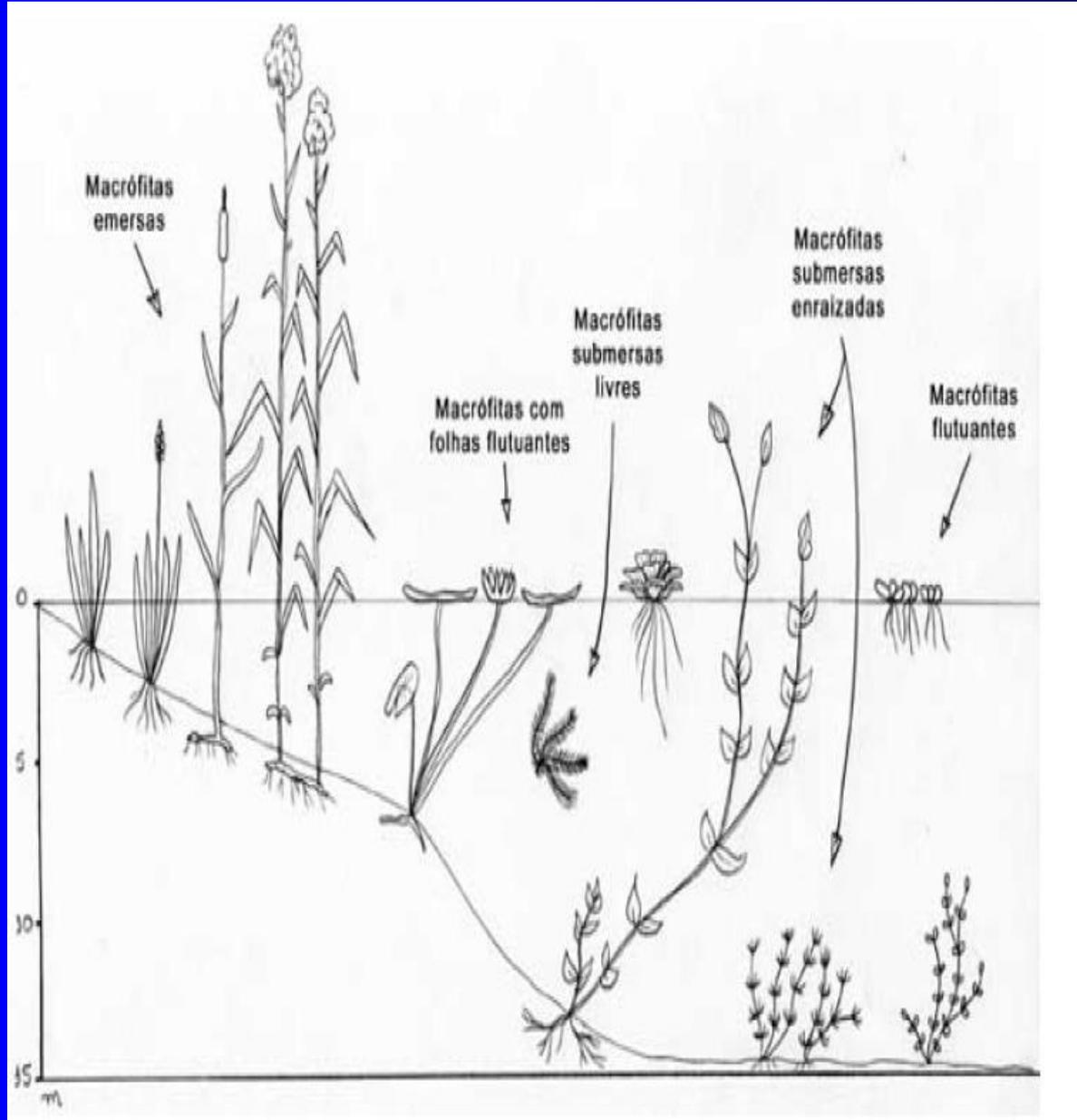
■

- **6. Fitorremediação no ambiente líquido.**
- Por exemplo, *Eichornia crassipes* (aguapé) é uma macrófita flutuante muito usada. O seu crescimento é acelerado em condições de abundância nutricional. Produz 250-300 ton/há, com crescimento de 5% ao dia (15 ton biomassa/dia/há).
- Age por fitoestimulação e rizofiltração;
- Reduz a DBO, taxa de coliformes, turbidez, carga de minerais (N e P).
- Além disto retira fenóis e metais pesados, herbicidas e coadjuvante no caso dos cianetos.
-

# 6. Fitorremediação no ambiente líquido.

Figura 7:  
Vários  
tipos de  
macrófitas.

Fonte:  
Professor.



## ■ 7. Consideração sobre as vantagens

- Alternativa aos métodos convencionais de remoção física da camada contaminada do solo por apresentar potencial para tratamento *in situ*;
- Grandes áreas podem ser tratadas a baixo custo;
- Propicia uma estética favorável para o ambiente degradado;
- Após extrair os contaminantes do solo, e armazenar em seus tecidos, as plantas podem metabolizá-los, transformando-os em produtos menos tóxicos; pode haver aproveitamento das plantas em alguns casos.
- Utilização do solo após o tratamento.

## 8. Considerações sobre as desvantagens

- O tempo para se obter resultados satisfatórios pode ser longo.
- A concentração do poluente e a presença de toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta usada para não comprometer o tratamento.
- É necessário um manejo rigoroso. Fitorremediar não é abandonar plantações, ou sistemas ao destino.
- Há riscos como a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar;
- É necessário um conhecimento e monitoramento das características físico-químicas do solo ou água, contaminantes e de sua distribuição na área.

- **9. Avaliação de áreas contaminadas.**
- No Brasil, o CONAMA coordenou trabalhos a fim de estabelecer valores orientadores para solos e águas em todo o território nacional.
- Esses valores têm como base as pesquisas produzidas pela CETESB (2005).
- **Valor de Referência de Qualidade - VRQ** é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.
- **Valor de Prevenção - VP** é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea.

## ■ 9. Avaliação de áreas contaminadas.

- **Valor de Intervenção - VI** é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.
- Comparar os valores encontrados na amostragem no sítio investigado no exemplo com os valores ou faixas de valores utilizados como parâmetros.

# VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO

• Tabela 1:

• Fonte: Cruvinel, 2009.

Substância	CAS Nº	Referência de qualidade	Solo (mg.kg <sup>-1</sup> de peso seco) <sup>(1)</sup>				Água Subterrânea (µg.L <sup>-1</sup> )
			Prevenção	Intervenção			Intervenção
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>Inorgânicos</b>							
Alumínio	7429-90-5	-	-	-	-	-	200
Antimônio	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	150	300	500	750	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	<0,5	1,3	3	8	20	5
Chumbo	7440-43-9	17	72	180	300	900	10
Cobalto	7439-92-1	13	25	35	65	90	5
Cobre	7440-50-8	35	60	200	400	600	2.000
Cromo	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Ferro	7439-89-6	-	-	-	-	-	300
Manganês	7439-96-5	-	-	-	-	-	400
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	12	36	70	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	13	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	-	-	-	-	-	10.000
Prata	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	5	-	-	-	10
Vanádio	7440-62-2	275	-	-	-	-	-
Zinco	7440-66-6	60	300	450	1000	2000	5.000

## 10. Exemplo.

A Prof.<sup>a</sup> Cruvinel (2009) em sua tese de mestrado em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto realizou um estudo que teve como objetivo avaliar a fitorremediação de solos contaminados pelos metais níquel, chumbo, cádmio, cromo e zinco três espécies vegetais (Mostarda, Braquária e Fáfia).

Neste estudo foram realizados ensaios em baldes de 10 L contendo em média 8 kg de terra;

Utilizou-se sais de cada um dos metais em diferentes concentrações;

Antes do plantio foram feitos os cálculos da quantidade de cada metal para cada balde para saber a contaminação exata do solo.



- *Brassica juncea* (Mostarda da Índia)



- *Brachiaria decumbens* (Capim-Braquiária)



- *Pfaffia glomerata* (Fáffia)

- **10. Exemplo.**

- As três espécies vegetais foram plantadas nas diferentes concentrações de metais para a análise da capacidade de acumulação destes metais pelas plantas.



## ■ 10. Exemplo.

- A Mostarda da Índia foi a espécie que se desenvolveu melhor nos diferentes tipos de contaminação;
- A Mostarda da Índia e o capim Braquiária acumularam os metais cromo, chumbo, níquel e zinco, sendo que o zinco foi mais facilmente removido em relação aos demais elementos;
- A Fáfia demonstrou ser pouco acumuladora e muito sensível aos metais presentes no solo quando comparada com os demais vegetais.

- **11. Exercício em grupo.**
- Solicita-se a escolha de um exemplo de uso ou projeto de uso de fitorremediação de solo contaminado para descrição resumida.
- Sugere-se os seguintes descritivos:
  - i) Título, autor, ano, mídia onde foi apresentado;
  - ii) Problema a ser tratado com fitorremediação;
  - iii) Plantas usadas;
  - iv) Resultados.

