

Material Didáctico Multimédia de Genética e Biotecnologia Vegetal

www.institutovirtual.pt/edu-agri-biotec



FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN

Projecto integrado no "Programa de Apoio a Projectos de Pesquisa no Domínio Educativo 2001", do Serviço de Educação e Bolsas da Fundação Calouste Gulbenkian.

«A Sociedade começou a responder a preocupações ambientais há já algum tempo, começando por reconhecer que o nosso ambiente é frágil e as actividades humanas podem ter um grande impacto nele.» Maier, R. (2000)

Ficha temática n.º5 Fitorremediação

Uma planta move-se... Aos movimentos das plantas damos o nome de tropismos (o fototropismo é o movimento em resposta à luz). Mas uma planta não foge! ('apenas viaja': sempre que as suas sementes são dispersas...) Pelo contrário, um animal move-se... E foge, se necessário...(figuras 1 e 2).

Somos tentados a pensar que a Vida na Terra, sempre com algumas ameaças ambientais, parece ser um jogo mais fácil para os animais do que para as plantas fixadas ao solo por raízes e que não podem fugir...

Recuemos no tempo, até à famosa era dos dinossauros... Eles foram levados à extinção... E o assunto explorado até à exaustão. Um facto é curioso: pensa-se que algumas das actuais plantas serão descendentes evolutivas de plantas que nessa 'altura crítica' não terão sofrido extinção... Este episódio mostra que nos ecossistemas, para um dado problema, várias soluções são exibidas por diversos seres vivos e, portanto, nem tudo é tão simples como num 'jogo de dados'... As múltiplas estratégias empregues pelos seres vivos relembram talvez 'jogos de xadrez'...

No vasto conjunto de plantas, há sempre 'umas' que mostram ser capazes de viver em condições de secura, 'outras' em solos salinos, ou outras ainda em condições ambientais adversas (ou seja de 'stress abiótico'). Se elas são tão versáteis porque não aproveitá-las?? É isso mesmo que vamos explorar...

Plantas como 'agentes de limpeza'

A ideia de empregar plantas em «acções-de-limpeza» ambiental, ou de descontaminação, teve como um dos seus pioneiros o investigador K. Seidel, que em 1966, usou num ensaio experimental: plantas aquáticas e suas 'equipas de micróbios companheiras' (designadas por 'comunidades microbianas associadas') para purificar água bastante contaminada com fenóis e outros compostos químicos.

A descontaminação de zonas contaminadas realizada através de processos biológicos (por acção de microorganismos, por ex.) é designada Biorremediação. Os termos Biorremediação e Biodegradação são, por vezes, usados como similares, mas a 'biodegradação' é um processo natural (sem interferência humana), enquanto que na 'biorremediação' há interferência humana que induz ou favorece o processo de 'biodegradação'.

Mas como 'não há soluções milagrosas, também na biorremediação:

- o sucesso pode ser imprevisível, dado que se está a usar um sistema biológico e que portanto tem uma dinâmica complexa...
- nem sempre a recuperação é completa... e existe quase sempre, uma contaminação residual.

Contrariamente a muitos tipos de poluentes (figura3), os metais são persistentes no ambiente e não podem ser alvo de processos de degradação por meios biológicos, físicos ou químicos de modo a originarem um «produto inócuo»: eles são um caso à parte, ou seja, 'não nos podemos livrar deles' pois, de modo simples, eles:
- não são decompostos pelo calor...
- nem degradados por acção biológica...

As plantas & os metais

À definição clássica de metal ligamos noções de dureza, resistência, condutividade, etc. No entanto, em contextos bio-ambientais, como o das interacções planta- solo, são-nos úteis definições funcionais de diversas categorias (po ex.: metal essencial- metal necessário no ciclo de vida completo dum organismo; metal tóxico- é aceite a noção de que 'todos os metais são tóxicos' e, que na prática, se refere existir toxicidade, sempre que para um dado organismo a dose ideal seja ultrapassada, pois o grau de toxicidade varia imenso de metal para metal e de organismo para organismo; metal pesado- termo que foi usado de modo muito impreciso e geralmente associado à ideia de 'poluição & toxicidade' (outras categorias incluem: metal disponível; metal vestigial e micronutriente metálico).

Os metais existem nos solos em consequência de fenómenos naturais 'fontes naturais de metais, ou como resultado de actividades humanas 'fontes antropogénicas de metais'. Para as plantas, a fonte imediata de metais é a solução do solo. Nesta solução os metais podem existir sob diferentes formas, das quais destacamos (de modo não exaustivo apenas estas duas): (i) iões metálicos livres ou complexos solúveis; (ii) iões metais não-livres ('adsorvidos') em constituintes inorgânicos do solo.

Notas



Figura 1 - As plantas 'movem-se à sua maneira'... Para conseguirem ultrapassar condições de stress existentes num dado local, desenvolveram ao longo do tempo diversos mecanismos que lhes permitem adaptar-se (já que 'fugir' não podem!).

Stress abiótico - conjunto de condições adversas ambientais originadas por factores não bióticos e portanto designados abióticos. A temperatura é um exemplo de 'factor abiótico'.



Figura 2 - Os animais movem-se de múltiplas formas, sendo o voo uma delas.

Comunidades microbianas associadas - as zonas radiculares - 'rizosfera' de plantas de pântanos salinos têm associadas populações de várias bactérias que degradam 'hidrocarbonetos policíclicos aromáticos'. Para além das bactérias também os fungos podem 'ajudar' na biodegradação.

Biorremediação - explora os processos biodegradativos que ocorrem naturalmente para descontaminar certos locais. No tratamento do solo e de terras em alguns países, tomou-se vulgar este processo nos solos de zonas de estações de gasolina.

Biodegradação - processo também designado por 'remediação biológica intrínseca' ou 'atenuação natural'. Nestas duas designações é evidenciado um aspecto: é um processo sem intervenção humana, pois é 'intrínseco' e 'natural'.



Figura 3 - Os poluentes classificam-se em vários grupos.

Toxicidade - pode ser definida, de modo simples, como um efeito nocivo num ser vivo. Pode ser aguda (dose alta num tempo de exposição curto) ou crónica (dose baixa durante longa exposição); toxicidade dos metais nas plantas-origina diversas alterações no aspecto e morfologia de folhas, frutos e raízes.

Fontes naturais de metais - depósitos de minérios e rochas, que ao longo dos tempos, por erosão, se disseminam no meio ambiente...

Fontes antropogénicas de metais - várias indústrias, extração de minérios, exaustão de partículas de gases de motores, centrais de produção de energia, agricultura intensiva, resíduos municipais, etc

As plantas (figura 4) têm a capacidade de acumular metais pesados do solo (figura 5) ou da água, particularmente os metais pesados que são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento (metais com função biológica). Certas plantas são também capazes de acumular metais que não têm funções biológicas.

Sempre que forem as plantas a fazer a remediação biológica dado que são capazes de removerem, acumular, ou tornarem inofensivos os contaminantes ambientais temos um processo de Fitorremediação. A Fitorremediação de metais pode ocorrer três maneiras, uma das quais é a fitoextração (ver esquema 1), só útil em concentrações moderadas de metais .



Esquema 1 - Algumas plantas conseguem que a água e os metais sejam extraídos do solo, num processo designado Fitoextração.

Para os casos de poluição de águas e solos por metais pesados a maioria das estratégias convencionais de 'remediação' nem sempre são soluções satisfatórias e esta tecnologia emergente a fitorremediação- pode dar um contributo.

A fitorremediação pode usar plantas acumuladoras de metais:
- que o fazem de forma 'inata' (ou seja, por mérito próprio)
- que o fazem de forma 'adquirida' (ou seja por modificação genética).

Para além de plantas acumuladoras de metais, existem também: plantas indicadoras e plantas exclusoras. Todas elas possuem vários órgãos (figura 6a) entre os quais raízes (figura 6b) "escondidas". De facto, a natureza é uma 'caixa de surpresas': se estivermos atentos há sempre algo de novo para nos surpreender. Por exemplo, constatou-se que certas plantas podiam crescer em solos com altos níveis de metais pesados como o Níquel ou o Zinco, sem que nenhum prejuízo fosse visível. Surgia então esta hipótese: usar essas plantas para remover metais. Tratava-se pois de usá-las como «aspiradores»! Estas plantas designam-se «hiperacumuladoras» e geralmente acumulam um só elemento e crescem lentamente... Como raramente foram cultivadas existem poucos dados sobre as suas sementes e técnicas de produção.

Na natureza... Plantas 'armazenadoras- de- metal'... para o bem, ou para o mal?

As plantas 'armazenadoras-de-metal' ou seja as plantas acumuladoras de metal existem em solos naturalmente ricos nesse metal e segundo dados obtidos nalguns estudos, uma das funções dessa acumulação de metais pode estar relacionada com a defesa das plantas face a herbívoros. De facto, essas plantas não estão em menus apetitosos para herbívoros... mas dão-nos dados preciosos sobre os genes responsáveis pelo transporte e acumulação de metais, para futuros ensaios experimentais, em laboratórios...

Laboratórios... & plantas transgénicas para remediação ambiental

Existem já alguns protocolos experimentais desenvolvidos nesta área, que se encontra em desenvolvimento em diversos Países. Decorrem ensaios para tentar obter plantas transgénicas com acrescida tolerância a metais, nomeadamente na planta modelo: Arabidopsis. Para um caso que não envolve metais e realizado por japoneses verificou-se que:

- 1. O gene cbnA duma bactéria (a Ralstonia eutropha NH9) foi introduzido em plantas de arroz (esse gene foi, como é usual em protocolos de transformação genética de plantas, incluído numa cassete génica com o gene promotor CaMV35S);
2. Obtiveram-se plantas transgénicas capazes de degradar compostos cloroaromáticos no solo e em águas superficiais.

Notas



Figura 4 - A vegetação dum dado local é recolhida para posteriores estudos.



Figura 5 - A recolha de amostras de solo pode necessitar do uso de perfuradores.

Plantas acumuladoras de metais - uma planta diz-se acumuladora quando tem uma concentração de metal nos seus tecidos maior do que a encontrada no solo. Aumentos na concentração de metal no solo correspondem também aumentos na concentração nos tecidos da planta.

Hiperacumuladoras - são uma forma extrema de plantas acumuladoras, nas quais a concentração de metal nos tecidos pode exceder 1000mg/Kg de matéria seca!! Plantas do género Alyssum são um exemplo de plantas hiperacumuladoras de Níquel. Para além de Alyssum bertolonii, outros exemplos de plantas hiperacumuladoras incluem a mostarda-branca (Brassica juncea) e Streptanthus polygaloides.

Os órgãos das Plantas

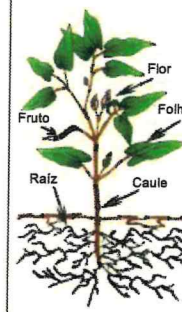


Figura 6a - Diagrama dos diversos órgãos das plantas

Raiz Primária e Raízes Secundárias da P. Plantas

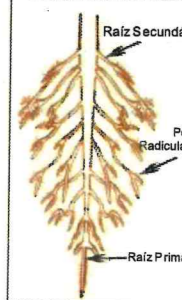


Figura 6b - Organização do sistema radicular

Quanto aos metais, resta-nos como estratégia interferir na sua biodisponibilidade, a qual pode ser alterada por reacções de oxidação ou redução. Estas reacções dão-se nas células sob comando de várias proteínas essenciais ao funcionamento das células, que como sabes, são as enzimas.

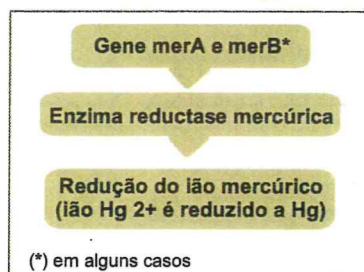
#### Caso simples:

Um exemplo bem sucedido do uso de engenharia genética aplicada à fitorremediação inclui:

1. o uso do **gene (da bactéria *E.coli*)**, cuja sigla é **merA** (relacionado com o mercúrio: Hg)
2. esse gene codifica esta **enzima: 'reductase mercúrica bacteriana'**, que como o nome indica intervem numa reacção de redução.
3. a enzima vai 'comandar' a redução do ião mercúrico (Hg<sup>2+</sup>) em mercúrio (Hg).

Nas células de plantas geneticamente modificadas para expressarem esse gene passará a ocorrer, para além de tantas outras vias, a via cujos passos se esquematizam:

Esta reacção química permite que a partir de um ião metálico (Hg<sup>2+</sup>), que é tóxico, se obtenha o metal numa forma menos tóxica (Hg) e que até é volátil (foi assim mudada a forma como o metal se apresentava - 'Biodisponibilidade').



#### Outros Casos:

A tolerância ao alumínio tem sido aumentada no tabaco, papaia, arroz, milho através da inserção de genes codificadores dumas enzimas: as enzimas da síntese de citrato.

#### Em que situações serão de utilidade...

##### Caso das explorações mineiras

Sabemos ser crescente o número de locais contaminados com metais. Os métodos vulgarmente usados para solucionar estes problemas de contaminação são caros e, por isso muito pouco usados. Mas adiar problemas nada resolve... Um caso em que a fitorremediação já se usa como solução é o caso de muitas explorações mineiras, cujo destino final é o abandono (figuras 7a e 7b)...Dado que poucas plantas por aí se instalam de modo natural, é favorecida uma dispersão dos poluentes pela vizinhança (pelas acções do vento e chuva...). Uma solução simples consiste na elaboração de 'projectos de estabelecimento e manutenção de vegetação', com espécies endémicas (já adaptadas ao clima e outras condições locais) que sejam tolerantes (para aí se 'aguentarem').

Em Inglaterra, estudos destes permitiram que algumas variedades de gramíneas adaptadas a solos contaminados fossem comercializadas (por ex.: *Agrostis tenuis* variedade 'Gonigan'; *Festuca rubra* variedade 'Merlim').

Em Portugal, em 15 locais nas proximidades de minas no Noroeste continental, o investigador De Koe efectuou (e publicou em 1994) análise dos teores de metais pesados e de Arsénio em solos e plantas (*Agrostis castellana* e *Agrostis delicatula*). Como elas eram espécies bem adaptadas e resistentes aos metais e ao Arsénio, foram aproveitadas para projectos de 'revegetação'.

Mais a Sul, nas minas de Aljustrel, foram realizados estudos deste tipo, com outras plantas e para outros metais.

As plantas, sozinhas, ou em associações com microorganismos, poderão ser cada vez mais usadas para descontaminar o ar, as águas e os solos, seguindo 'Rotas ainda pouco exploradas' (esquema 2).

Notas

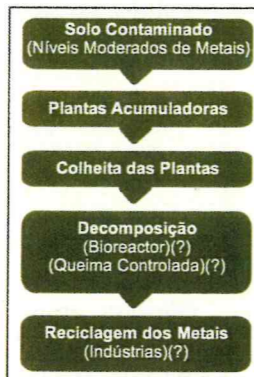


Figura 7a



Figura 7b

Figura 7a e b - Minas de extracção de minérios. O seu abandono e a ausência de vegetação na vizinhança pode permitir dispersão pelo vento de alguns metais que possam ser contaminantes. A 'revegetação' com certas plantas pode aliviar este problema.



Esquema 2 - Rotas e Destinos das plantas usadas na Fitoextração.

Fitorremediação



4

#### Fontes consultadas

Alvarenga, P. *et al.* (1998). As plantas, os solos, os metais e a vida. Jogos Múltiplos. *Química* 71: 10-19.

Black, H. (1999). Phytoremediation: A Growing Field with Some Concerns. *The Scientist* 13 (5): 1.

Burd, G.I. *et al.* (1998). A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. *Appl. Env. Microbiol.* 64 (10): 3663-8.

Daane, L.L., *et al.* (2001). Isolation and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria associated with the rhizosphere of salt marsh plants. *Appl. Env. Microbiol.* 67(6): 2683-2691.

Gleba, D. *et al.* (1999). Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*: Vol. 96(11): 5973-5977.

Maier, R.M. (2000). Microorganisms and organic pollutants, pp 363-402, in Environmental Microbiology. Maier, R. *et al.* (eds), Acad. Press.

Renault, S. *et al.* (2000). Phytoremediation and phytomining in manitoba: preliminary observations from an orientation survey at the central Manitoba (AU) Minesite (NTS 52L/13). *Report of Activities 2000, Manitoba Industries, Trade and Mines, Manitoba Geological Survey*, p. 179-188.

Salt, DE, *et al.* (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology* 13(5): 468-74.

Shelton, D.R., Karns, J.S. (1998). Pesticide Bioremediation: Genetic and Ecological Considerations, pp 181- 216, in Pesticide Remediation in Soils and Water, John Wiley & Sons Ltd.

Shimizu, M. *et al.* (2002). Molecular breeding of transgenic plant rice plants expressing a bacterial chlorocatechol dioxygenase gene. *Appl. Env. Microbiol.*: 68(8): 4061-66.

ICS- UNIDO (2002). Technological and Economic Aspects of Soil Bio/Phyto Remediation. *Country Reports and selected papers from Training Workshops of ICS-UNIDO* (June'97; Oct.'97). ([http://www.ics.trieste.it/documents/chemistry/remediation/publications/soil1997/07\\_Pelovsky.pdf](http://www.ics.trieste.it/documents/chemistry/remediation/publications/soil1997/07_Pelovsky.pdf))

#### Imagens

[www.the-scientist.com](http://www.the-scientist.com)  
[www.igm.pt](http://www.igm.pt)  
[www.phytomine.co.nz](http://www.phytomine.co.nz)  
[www.webshots.com](http://www.webshots.com)  
[www.ars.usda.gov/](http://www.ars.usda.gov/)

#### Escolas Participantes

Escola Profissional de Desenvolvimento Rural de Serpa  
 Escola Profissional do Alto Minho Interior  
 Escola Profissional Agrícola do Rodo Régua  
 Escola de Viticultura e Enologia da Bairrada Anadia  
 Escola Profissional Agrícola de Torres Vedras Runa



Ministério da  
Agricultura,  
do Desenvolvimento  
Rural e das Pescas



instituto de soldadura  
e qualidade

#### Conteúdo Científico

Dr.ª Maria Alexandra Viegas Abreu Lima - Departamento de Protecção de Plantas

EAN-INIA

Concepção Gráfica