



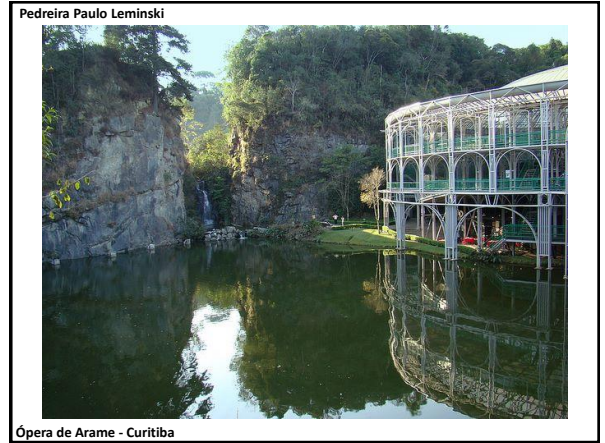
Recuperação: objetivos gerais

Recuperar...

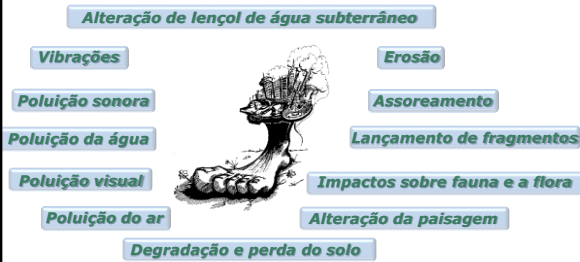
- ✓ A fertilidade do ecossistema,
- ✓ Seus valores ecológicos,
- ✓ Econômicos e
- ✓ Estéticos

≠ de "Restaurar"





Recuperação: escolha da técnica



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA



Exemplo da ação do quebra-vento na redução da velocidade eólica

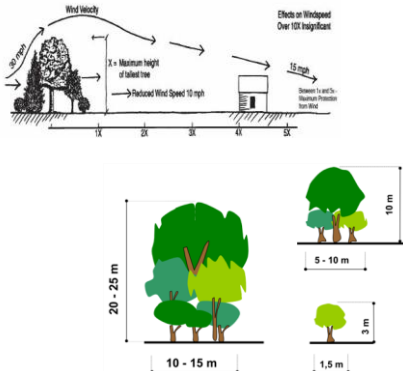


Figura 3 – Composição de quebra-ventos de árvores. Maiores alturas requerem espécies de vegetação intermediárias para formar um bom quebra-vento.

Técnicas de recuperação

Table 5. Useful plant species useful for controlling air pollution

Special properties	Name of species
Pubescence on leaves to entrap and hold dust particles	<i>Guazuma</i> , <i>Putranjiva</i> , <i>Nyctanthes</i> , <i>Trema</i> , <i>Holoptelea</i> , <i>Terminalia</i>
Leaves and branches to slow wind	<i>Albizzia</i> , <i>Samania</i> , <i>Peltophorum</i> , <i>Tamarindus</i> , <i>Dalbergia</i>
Blossoms and foliage that provide pleasant smell to mask odour	<i>Morinda</i> , <i>Cestrum</i> , <i>Annona</i> , <i>Michelia</i> , <i>Jasminum</i> , <i>Citrus</i> , <i>Plumeria</i> , <i>Magnolia</i>
Leaves and branches to slow the action of rain	<i>Azadirachta</i> , <i>Melia</i> , <i>Acacia</i> <i>auriculiformis</i> , <i>Delonix</i> , <i>Cassia</i>
Plants that absorb SO ₂	Lichens, <i>Fagus</i> , <i>Acer</i>

Técnicas de recuperação

Table 4. Trees tolerant to air pollutants

Dust pollution	Sulphur dioxide
<i>Alstonia scholaris</i>	<i>Albizia lebbek</i>
<i>Cassia siamea</i>	<i>Ailanthus excelsa</i>
<i>Dalbergia sissoo</i>	<i>Alstonia scholaris</i>
<i>Ficus benghalensis</i>	<i>Azadirachta indica</i>
<i>F. infectoria</i>	<i>Ficus religiosa</i>
<i>Mangifera indica</i>	<i>Lagerstroemia</i>
<i>Peltophorum ferrugineum</i>	<i>Mimusops elengi</i>
<i>Polyalthia lognifolia</i>	<i>Polyalthia longifolia</i>
<i>Shorea robusta</i>	<i>Terminalia arjuna</i>
<i>Syzygium cumini</i>	<i>Acer platanoides</i>
<i>Tectona grandis</i>	<i>Quercus palustris</i>
<i>Alnus viridis</i>	<i>Q. rubra</i>
Ozone	Oxides of nitrogen
<i>Acer negundo</i>	<i>Gagus orientalis</i>
<i>Acer platanoides</i>	<i>Quercus rubra</i>
<i>Quercus palustris</i>	<i>Robinia pseudocacia</i>
	<i>Sambucus nigra</i>
Peroxyacetyl nitrate	Lead
<i>Acer platanoides</i>	<i>Cassia siamea</i>
<i>A. negundo</i>	<i>Zizyphus mauritiana</i>
<i>Quercus palustris</i>	

Técnicas de recuperação

Tabela 1. Utilidades adicionais de algumas espécies usadas como quebra-vento.

ESPECIES	Clima	Pluviosidade (mm)	Altura (m)	Utilização	Madeira	Para Mel
	Temperado	600-1000	< 9	Ornamental	Carvalho	Pinus
	Sub-tropical	> 1000	9-24	Sorrelha	Decidua	Pinus
<i>Syncarpia glomulifera</i> (aurifolia)	1	1	1	1	1	1
<i>Tristania conferta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus acuminoides</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus cinerea</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus cloaciana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus maculata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus microcarpa</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus moluccana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus paniculata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus pilularis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus resinifera</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus robusta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	1	1	1	1	1

1 - Própria para a categoria indicada na coluna;
 2 - Menos própria para a categoria indicada do que a classificada com 1;
 x - Não deve ser utilizada na categoria indicada na coluna.
 Fonte: (Batta & Souza, 1997).



Técnicas de recuperação

FONTE: Drumond et al., 2011



Figura 1. Vista geral da área de deposição de rejeitos finos da mineração de cobre oriundos do processo de tratamento do minério: a) deposição de rejeitos finos; b e c) vista geral da bacia de rejeitos; d) perfil da área de deposição de rejeitos finos. Área total de aproximadamente 700 ha. (Fotos: Marcos Antônio Drumond).

Mineração Caraíba, Jaguarari, BA

Técnicas de recuperação

FONTE: Drumond et al., 2011



Figura 2. Primeiros estágios de revegetação com *Eucalyptus camaldulensis* na bacia de rejeitos finos da mineração de cobre: a) *E. camaldulensis* ao primeiro plantio; b) *E. camaldulensis* aos 2 anos de idade; c) *E. camaldulensis* aos 3 anos de idade; d) *E. camaldulensis* aos 4 anos de idade, já contribuindo para a fixação de capim-buffet. (Fotos: Marcos Antônio Drumond).

Técnicas de recuperação

FONTE: Drumond et al., 2011

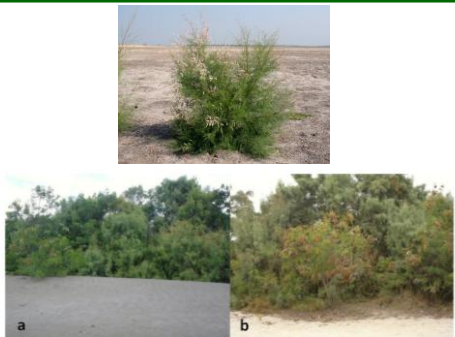


Figura 7. Quebra-vento com tamarix aos 18 anos de idade, eficiente na contenção do efeito dunas na bacia de rejeitos finos da mineração de cobre: a) Antes do quebra-vento com tamarix; b) depois do quebra-vento com tamarix. (Fotos: Marcos Antônio Drumond).



Fevereiro, 2014



Técnicas de recuperação

Figure 2: 'Mega-dump' of reprocessed gold tailings, south-east of Springs, Gauteng Province. Heavy rains in February 2008 led to landslides that denuded large parts of the previously vegetated slope.

Técnicas de recuperação

Crescimento das gramineas após 1 mês de plantio.



Técnicas de recuperação

Nome Comum	Nome Científico	Quantidade (Kg / ha) / Declividade	
		< 45°	≥ 45°
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	20	30
Braquiária	<i>Brachiaria decumbens</i>	40	60
Braquiário	<i>Brachiaria brizantha</i>	20	30
Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>	20	30
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	10	20
Capim-gordura	<i>Melinis minutiflora</i>	40	80
Crotalária	<i>Crotalaria spectabilis</i>	20	30
Nabo forrageiro	<i>Raphanus sativus</i>	20	10

Lan – Geotecnia e Fundação

Técnicas de recuperação



Lan – Geotecnia e Fundação

Mineração de ferro do Complexo Carajás – PA



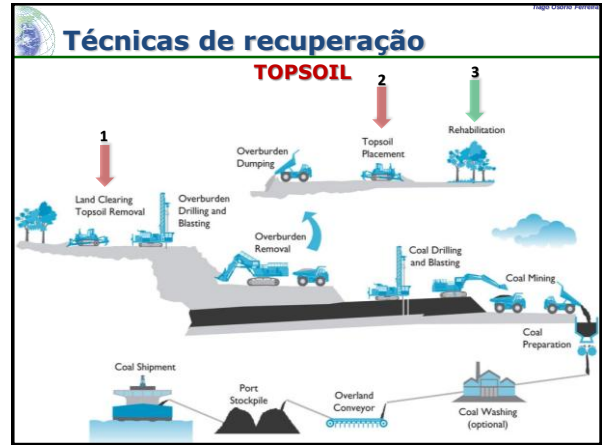
Figura 5. Disposição dos micro-terraços sobre os taludes de aterro e início do processo de germinação das espécies comerciais e nativas (Fonte: Gonçalves, F.S.).

Gonçalves, 2012

Técnicas de recuperação

Possíveis componentes para o **substrato**:

1. Selantes
2. Quebra de capilaridade
3. Topsoil





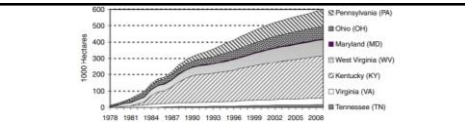


Fig. 2 Cumulative Appalachian area reclaimed and released from SMCRA regulation in seven states, 1978–2009. Eastern Kentucky areas are estimated from Kentucky totals in proportion to annual coal production. At the end of 2009 for the seven states, an additional 50,000 ha is reported as partially reclaimed but not released from SMCRA regulation. Data from US Office of Surface Mining

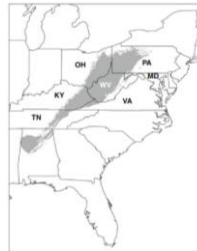


Fig. 3 The Appalachian coalfield of eastern USA, as it occurs in those states that harbor Appalachian hardwood forest vegetation



Fig. 4 Native hardwood regeneration on a Tennessee mine site reclaimed in 1958 by planting early successional tree species on horse spots, without the smooth grading and aggressive groundcover that have been used commonly under SMCRA (Franklin and Paine 2000)



Figura 1A. Uma paisagem de mina de carvão desativada e destinada a pastagem (Virginia, USA)

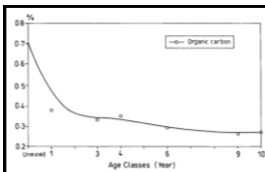


Fig. 2 Variation of organic carbon in differently aged soil dumps and unmined soil

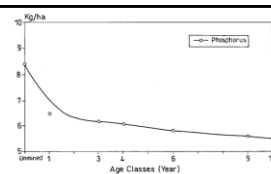


Fig. 4 Variation of available phosphorus in differently aged soil dumps and unmined soil

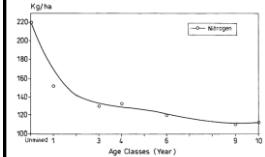


Fig. 3 Variation of available nitrogen in differently aged soil dumps and unmined soil

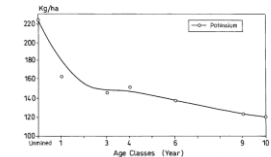


Fig. 5 Variation of available potassium in differently aged dumps and unmined soil

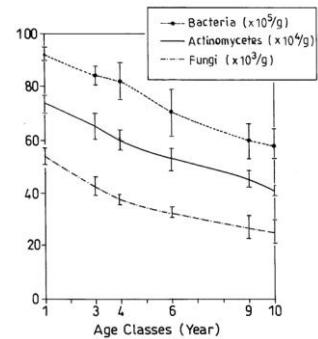


Fig. 6 Variation of microbial population in differently aged soil dumps

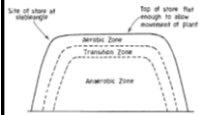
Topsoil: estocagem

Fig. 1 Schematic diagram of soil stock diagram

Altura

- ✓ 5 metros (max) arenosos
- ✓ 2-3 metros text. média
- ✓ 1 metro argilosos

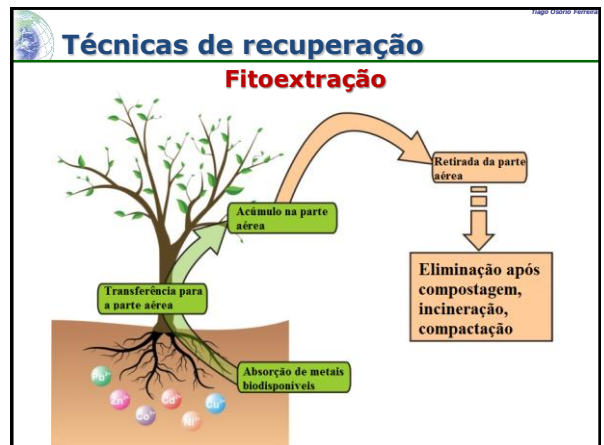
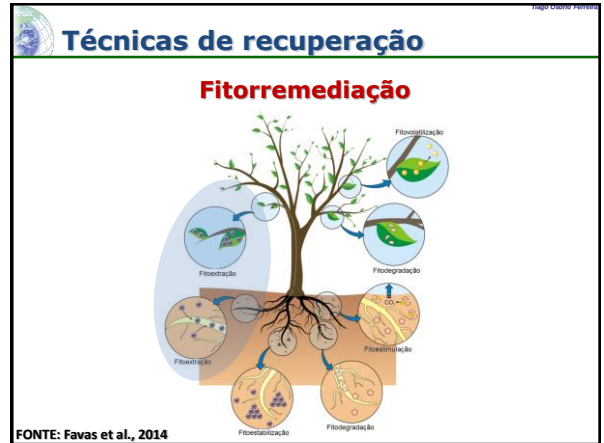
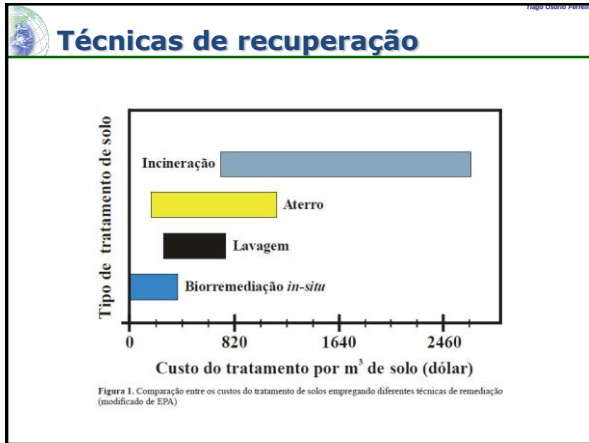


Técnicas de recuperação
Topsoil: manejo**Qualidade**

1. Acidez
2. Salinidade
3. Sodicidade
4. Inoculação
5. Adubação (macro e micro)
6. Características físicas (água, raízes)



Técnicas de recuperação
BIORREMEDIAÇÃO



Técnicas de recuperação

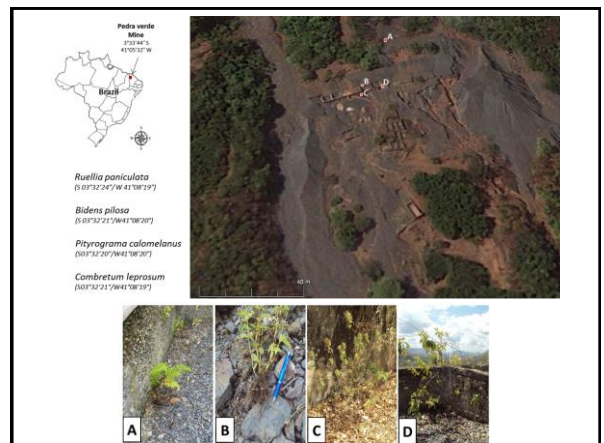
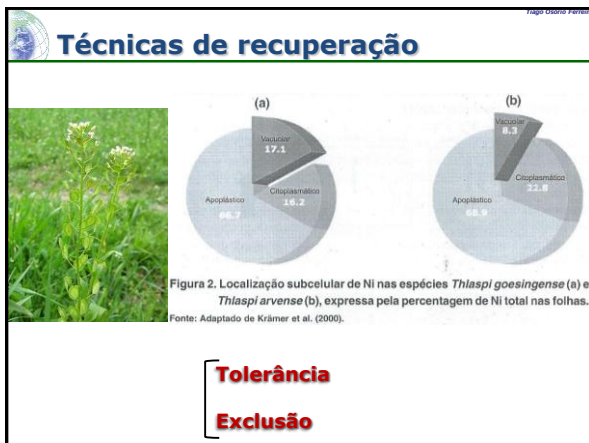
Quadro 1. Faixa normal, valores mínimos de teor de metais pesados para acumuladora e hiperacumuladora e número de espécies hiperacumuladoras

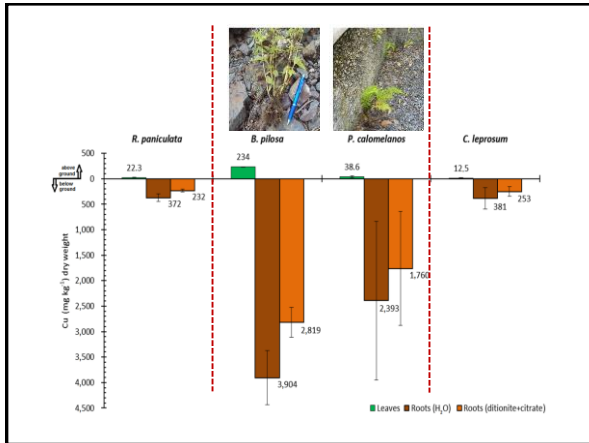
Elemento	Faixa normal	Limiar acumuladora	Limiar hiperacumuladora	Número de hiperacumuladoras
----- mg kg ⁻¹ (matéria seca) -----				
As	-	-	1.000	8
Cd	0,1-3	20	100	3
Co	0,03-2	20	100	28
Cr	0,2-5	50	100	Desconhecido
Cu	5-25	100	1.000	37
Mn	20-400	2.000	10.000	9
Ni	1-10	100	1.000	317
Pb	0,1-5	100	1.000	14
Se	0,05-1	10	1.000	20
Zn	20-400	2.000	10.000	15

Fonte: Boyd (2007).

Quadro 2. Plantas hiperacumuladoras de metais pesados

Metal	Espécie de planta	Referência
As	<i>Pteris vittata</i>	Ma et al. (2001)
As	<i>Pteris blairii</i>	Srivastava et al. (2006)
As	<i>Pteris quadrifurcata</i>	Srivastava et al. (2006)
As	<i>Pteris ryukyuensis</i>	Srivastava et al. (2006)
As	<i>Pityrogramma calomelanos</i>	McGrath & Zhao (2003)
As	<i>Pteris caudata</i>	McGrath & Zhao (2003)
As	<i>Pteris longifolia</i>	McGrath & Zhao (2003)
As	<i>Pteris umbrosa</i>	McGrath & Zhao (2003)
Cd	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Baker & Walker (1989)
Co	<i>Alyssum murale</i>	Tappero et al. (2007)
Co	<i>Humulistrum robertii</i>	Brooks (1989)
Cr	<i>Sedum alba</i>	Gardes-Torres et al. (2005)
Cu	<i>Ipomoea alpestris</i>	Baker & Walker (1989)
Cu	<i>Acaulanthus biflorus</i>	Chaney et al. (2007)
Mn	<i>Phytolacca acroba</i>	Xu et al. (2004)
Mn	<i>Alysis rubicula</i>	Chaney et al. (2007)
Ni	<i>Alyssum murale</i>	Tappero et al. (2007)
Ni	<i>Sedum album</i>	Jaffre et al. (1976)
Ni	<i>Berthia cordata</i>	Robinson et al. (1997)
Ni	<i>Alyssum betuleum</i>	Morison et al. (1980)
Ni	<i>Thlaspi goessingense</i>	Barceló & Poschenrieder (2003)
Ni	<i>Alyssum pimbodisense</i>	Barceló & Poschenrieder (2003)
Ni	<i>Psychotria douglasii</i>	Barceló & Poschenrieder (2003)
Ni	<i>Phytolacca septemfida</i>	Chaney et al. (2007)
Pb	<i>Thlaspi rotundifolium</i>	Reeves & Brooks (1983)
Pb	<i>Mimulus verna</i>	Barceló & Poschenrieder (2003)
Se	<i>Astragalus racemosus</i>	Beath et al. (1937)
Se	<i>Brassica juncea</i>	Orser et al. (1999)
Se	<i>Brassica oleracea</i>	Leblanc et al. (1999)
Zn	<i>Sedum album</i>	McGrath & Zhao (2003)
Zn	<i>Arabidopsis halleri</i>	Barceló & Poschenrieder (2003)
Zn	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Reeves & Brooks (1983)





Técnicas de recuperação

Espécies hiperacumuladoras específicas com o potencial para fitominação
(FONTE: Brooks et al., 1998).

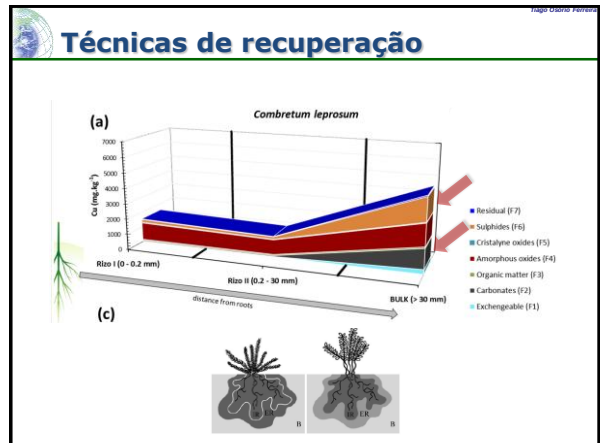
Elemento	Espécies	Biomassa
Cadmium	<i>Thlaspi caerulescens</i>	3000 (1)
Cobalt	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10 200 (1)
Copper	<i>Haumaniastrum katangense</i>	8356 (1)
Lead	<i>Thlaspi rotundifolium</i> subsp.	8200 (5)
Manganese	<i>Macadamia neurophylla</i>	55 000 (400)
Nickel	<i>Alyssum bertolonii</i>	13 400 (2)
Selenium	<i>Astragalus pattersoni</i>	6000 (1)
Thallium	<i>Iberis intermedia</i>	3070 (1)
Uranium	<i>Atriplex confertifolia</i>	100 (0.5)
Zinc	<i>Thlaspi calaminare</i>	10 000 (100)

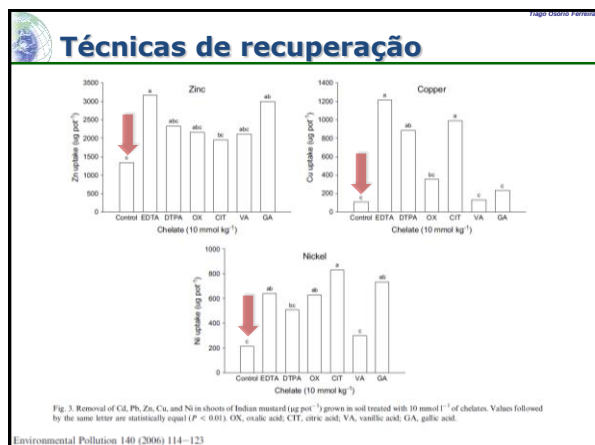
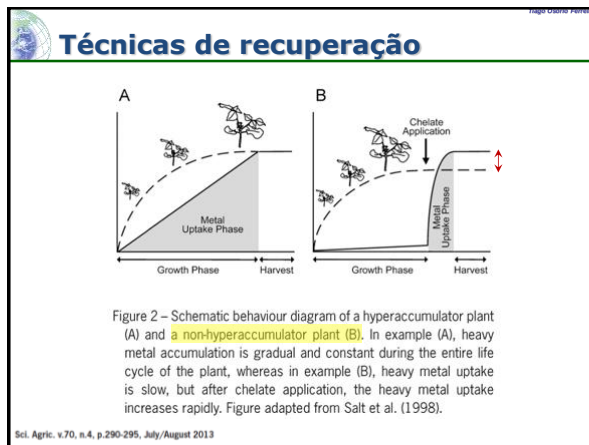
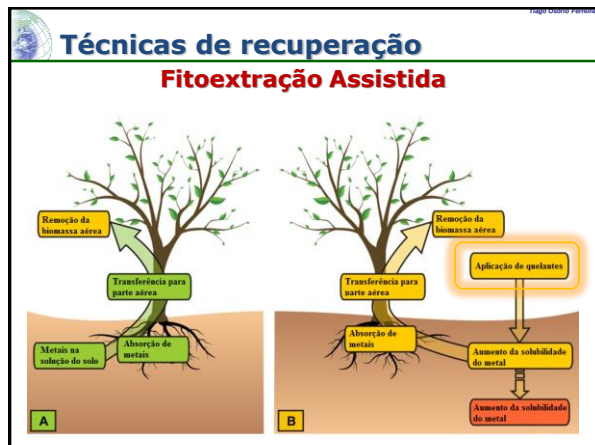
Biomassa está em t/ha/ano

Técnicas de recuperação

Limitações

- Limited to shallow soils or where contamination is localized to the surface (<5 m)
- Still under development and therefore not accepted by many regulatory agencies
- There is little knowledge of farming, genetics, reproduction and diseases of phytoremediating plants
- Metal concentrations in the soil can be toxic and lethal to plants
- Generally, plants are selective in metal remediation
- Treatment slower than the traditional physico-chemical techniques
- Contamination may spread through the food chain if accumulator plants are ingested by animals
- Efficient phytoremediating plants may not adapt to climatic and environmental conditions at contaminated sites
- If the plants release compounds to increase the mobility of the metals, these can be leached into groundwater
- The area to be decontaminated must be large enough to allow application of cultivation techniques
- Toxicity and bioavailability of degradation products remain largely unknown





Técnicas de recuperação

Quadro 3. Espécies de plantas com elevada produção de biomassa e potencial de uso na fitoextração

Espécie	Contaminante/substrato	Referência
<i>Salix</i>	Metais pesados/solo	Greger & Landberg (1999)
<i>Populus</i>	Ni/solo, água, água subterrânea	Barceló & Poschenrieder (2003)
<i>Brassica napus</i> , <i>B. juncea</i> , <i>B. nigra</i>	Metais pesados, Se/solo	Brown (1996); Bañuelos et al. (1997)
<i>Cannabis sativa</i>	Cd/solo	Ostwald (2000)
<i>Helianthus</i>	Pb, Cd/solo	EPA (2000); Elkatiib et al. (2001)
<i>Phragmites australis</i>	Metais pesados/rejeitos	Massacci et al. (2001)
<i>Glyceria fluitans</i>	Metais pesados/rejeitos	McCabe & Otte (2000)

Técnicas de recuperação

Perspectivas

- 1. Domesticação**
- 2. Plantas com potencial + quelantes**
- 3. Transgênicas**

Técnicas de recuperação

FITOMINERAÇÃO
"colheita" / recuperação de metais

Metal uptake through the activation of the root system

Phytoextraction

Translocation

Metabolism

\$\$\$

Técnicas de recuperação

THE PHYTOMINING OPERATION

1. Crop grown on soil containing metal concentration too low for conventional exploitation. Complexing agents may be added to enhance metal uptake of crop. **Nickel / Thallium / Gold**
2. Possible production of electricity. **Plant material burnt**
3. Small volume of plant ash (bio-ore) containing high concentration of target metal. **Smelt bio-ore to yield metal**

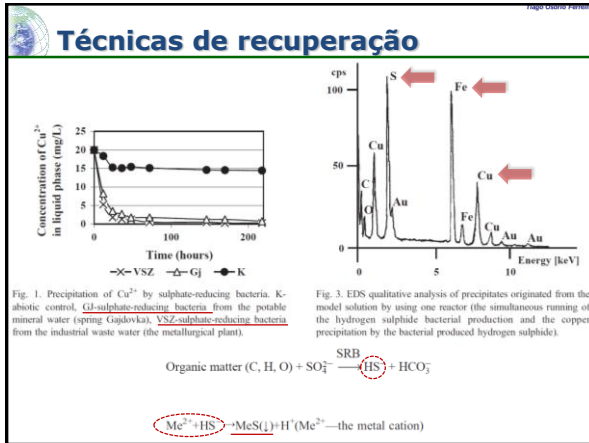
Fig. 4. Model of a proposed system for phytomining for metals.

Técnicas de recuperação

Fig. 2. Scanning electron micrographs of precipitates containing sulphate-reducing bacteria SRB-GJ.

Organic matter (C, H, O) + SO₄²⁻ $\xrightarrow{\text{SRB}}$ HS⁻ + HCO₃⁻

Me²⁺ + HS⁻ $\rightarrow$ MeS(L) + H⁺ (Me²⁺—the metal cation)



Técnicas de recuperação

World reference base for soil resources 2014
International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps

TABLE 1
Simplified guide to the WRB Reference Soil Groups (RSGs) with suggested codes
Note – this table is not to be used as a key. For full definitions, please refer to Chapter 3 and the Key (Chapter 4).

	RSG	Code
1. Soils with thick organic layers:	Histosols	HS
2. Soils with strong human influence –		
Soils with long and intensive agricultural use:	Anthrosols	AT
Soils containing significant amounts of artefacts:	Techosols	TC
3. Soils with limitations to root growth –		
Permafrost-affected soils:	Cryosols	CR
Thin soils or soils with many coarse fragments:	Lepidosols	LP
Soils with a high content of exchangeable Na:	Sodic soils	SN
Alternating wet-dry conditions, shrink-swell clays:	Vertisols	VR
High concentration of soluble salts:	Solchaks	SC
4. Soils distinguished by FeAl chemistry –		
Groundwater-affected soils, underwater soils and soils in tidal areas:	Gleysols	GL
Allophanes or Al-humus complexes:	Andosols	AN
Subsoil accumulation of humus and/or oxides:	Podzols	PZ
Accumulation and redistribution of Fe:	Plinthosols	PT
Low-activity clay B horizon, many Fe oxides, strongly structured:	Nitisols	NT
Dominance of kaolinite and oxides:	Ferralsols	FR
Stagnating water, abrupt textural difference:	Planosols	PL
Stagnating water, structural difference and/or moderate textural difference:	Stagnosols	ST



Técnicas de recuperação

Preparar "solos sob medida" derivados de resíduos à imagem dos solos de acordo com as necessidades ambientais

- ✓ Estabilizar **matéria orgânica**.
- ✓ Reduzir **acidez ou alcalinidade** excessiva
- ✓ Imobilizar **metais** e outros elementos de carácter tóxico
- ✓ Reter, aumentar ou reduzir o tempo de residência, filtrar **águas**.
- ✓ Controlar o **fluxo e qualidade da água**.

Técnicas de recuperação

Componentes dos tecnosolos usados para imobilizar esses elementos (**afinidades**)

Matéria orgânica: Cu, Fe, Pb, Cd, Ni e Co

Argilominerais: Fe, Cd, Co e Ni

Oxidróxidos: Cr, Hg, As e Pb

Carbonatos: Co, Cd, Cu, Fe, Pb e Zn

Técnicas de recuperação

Mina de Touro (Cu)

Drenagem Ácida

$$4\text{FeS}_2 + 15\text{O}_2 + 14\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$$

$$(\text{FeCu})\text{S}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 15\text{Fe}^{2+} + \text{Cu} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$$

Técnicas de recuperação

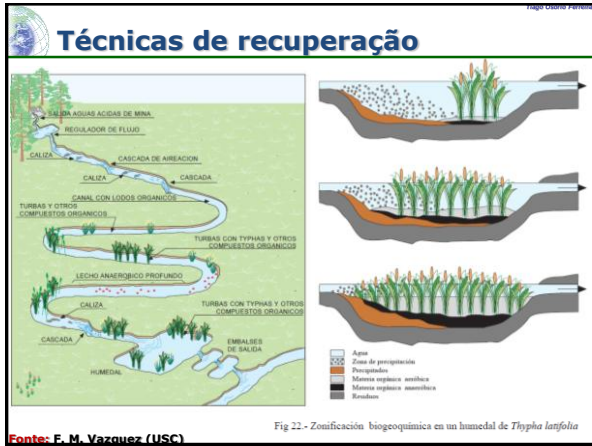
(Reddy *et al.* 1986)

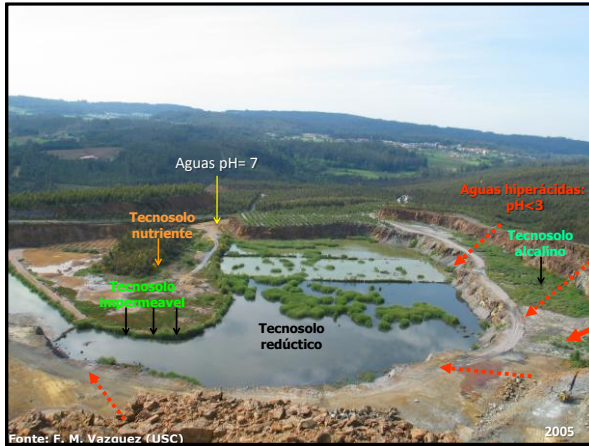
Reação	ΔG° (kcal/mol)
1.- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-686.4
2.- $5\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 24\text{NO}_3^- + 24\text{H}^+ \rightarrow 30\text{CO}_2 + 12\text{N}_2 + 42\text{H}_2\text{O}$	-646.0
3.- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{MnO}_2 + 24\text{H}^+ \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$	-457.8
4.- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 24\text{Fe}(\text{OH})_3 + 48\text{H}^+ \rightarrow 6\text{CO}_2 + 24\text{Fe}^{2+} + 66\text{H}_2\text{O}$	-100.0
5.- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 3\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 3\text{S}^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$	-91.0

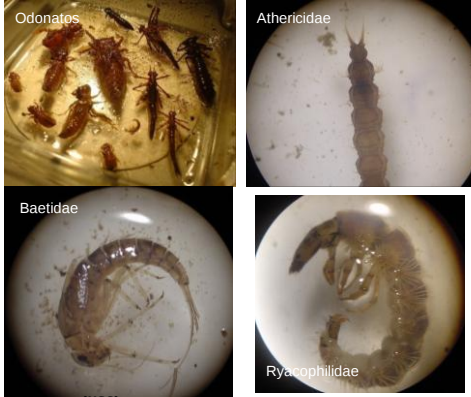
Me + S²⁻ → (Me) S₂

Técnicas de recuperação

Fonte: F. M. Vazquez (USC)





MACROINVERTEBRADOS

Fonte: F. M. Vazquez (USC)

VERTEBRADOS

Fonte: F. M. Vazquez (USC)

Técnicas de recuperação
