



BioGeoTec
Pesquisa e Soluções Ambientais



GlobalEnviron
Group

Biodegradação: aspectos teóricos e aplicações

Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas
eduardo@biogeotec.com.br

Biodegradação: Aplicações

- * Suporte a ferramentas de predição comportamental
- * Tratamento de efluentes industriais
- * Tratamento de resíduos sólidos
- * Remediação de áreas contaminadas



GlobalEnviron
Group

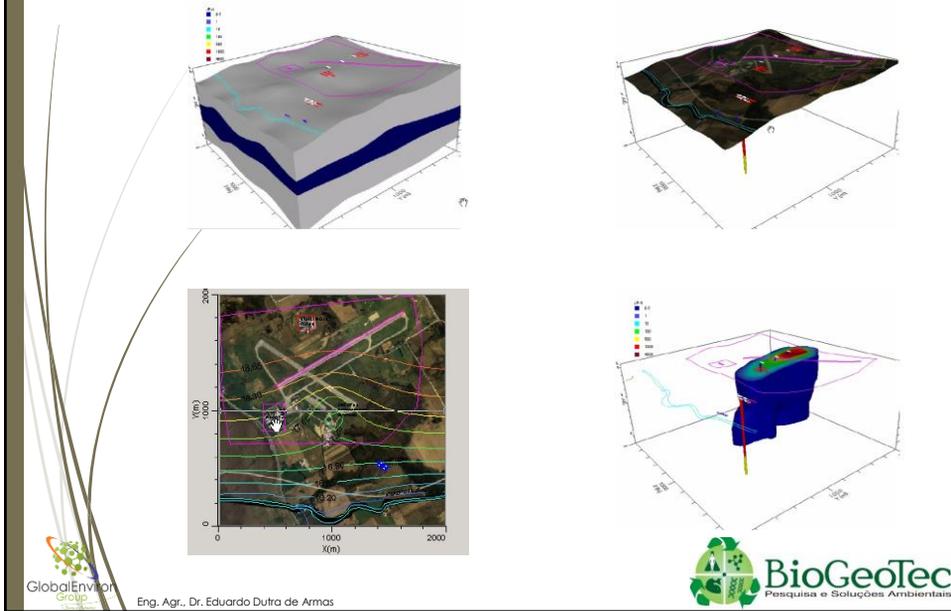
Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



BioGeoTec
Pesquisa e Soluções Ambientais

Suporte à predição:

Modelamento de plumas de contaminantes



Suporte à predição:

Modelamento de plumas de contaminantes



ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

FEV 1999

NBR 14283

**Resíduos em solos - Determinação da
biodegradação pelo método
respirométrico**

Respirômetro de Bartha & Pramer

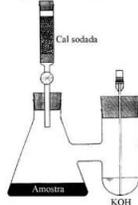


Figura 3.5 - Esquema de um respirômetro de Bartha e Pramer



Figura 3.6 - Respirômetros de Bartha e Pramer



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



BioGeoTec
Pesquisa e Soluções Ambientais

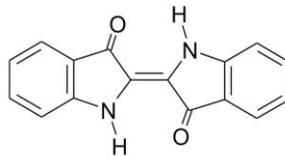
Tratamento de Efluentes Industriais: Degradação de efluentes



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de Efluentes Industriais: Degradação de corantes têxteis



indigo

- * Brasil é 7º maior produtor têxtil mundial
- * SP possui aproximadamente 1950 indústrias
- * Problemas ambientais
 - Metabólitos reativos
 - Turbidez nas águas superficiais
 - Difícil degradação



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de Efluentes Industriais: Descoloração de corantes têxteis



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de Efluentes Industriais: Descoloração de corantes têxteis



KAMIDA, H.M. (2004)



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de Efluentes Industriais:

Descoloração de corantes têxteis

Descoloração
(biodegradação)
(ação de enzimas ligninolíticas)



Metabólitos secundários



Produtos tóxicos e ou
mutagênicos



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de resíduos sólidos:

Compostagem



Eng. Ag.



Tratamento de resíduos sólidos:

Compostagem

- * Controle da umidade
- * Controle da temperatura
- * Adequação da Relação C/N

Relação C/N/P/S e disponibilidade de nutrientes

Relação			Imobilização (I) / Mineralização (M)	Disponibilidade
C/N	C/P	C/S		
>30	>300	>400	I > M	Diminuída
20-30	200-300	200-400	I = M	Inalterada
<20	<200	<200	I < M	Aumentada

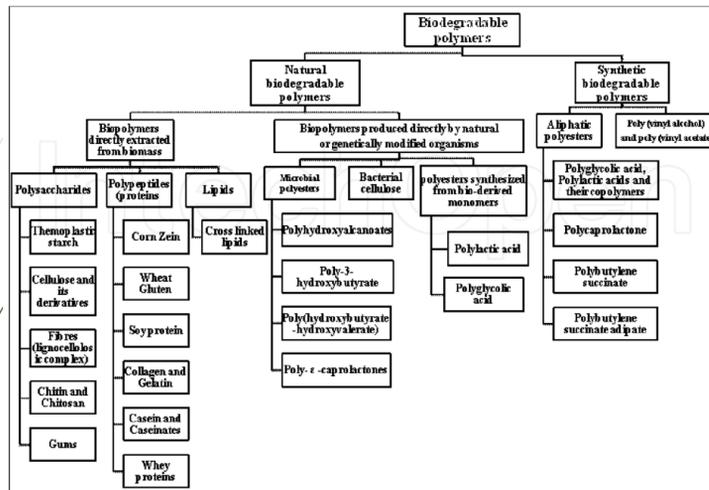


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de resíduos sólidos:

Degradação de polímeros



Biopolímeros baseado em sua origem e método de produção
(GHANBARZADEH & ALMASI, 2013)



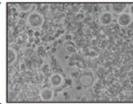
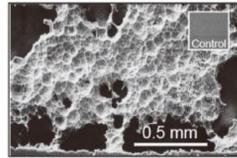
Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Tratamento de resíduos sólidos:

Degradação de polímeros

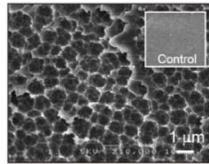
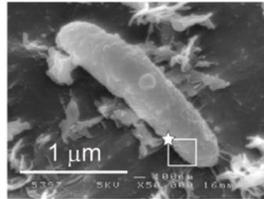
A



Biodegradação de PET.
(A) crescimento de consórcio microbiano após 20 dias.

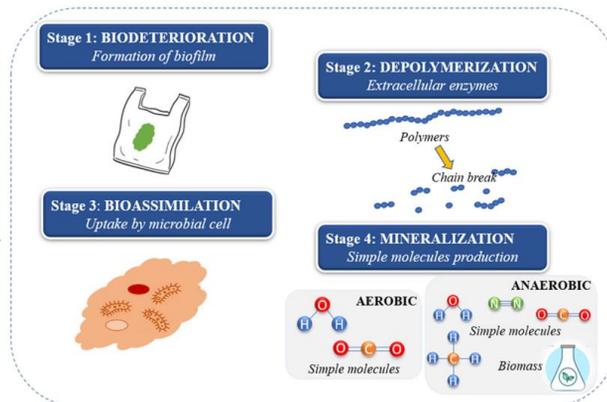
(B) *Ideonella sakaiensis* após 60 h.
(TANIGUCHI et al, 2019)

B



Tratamento de resíduos sólidos:

Degradação de polímeros



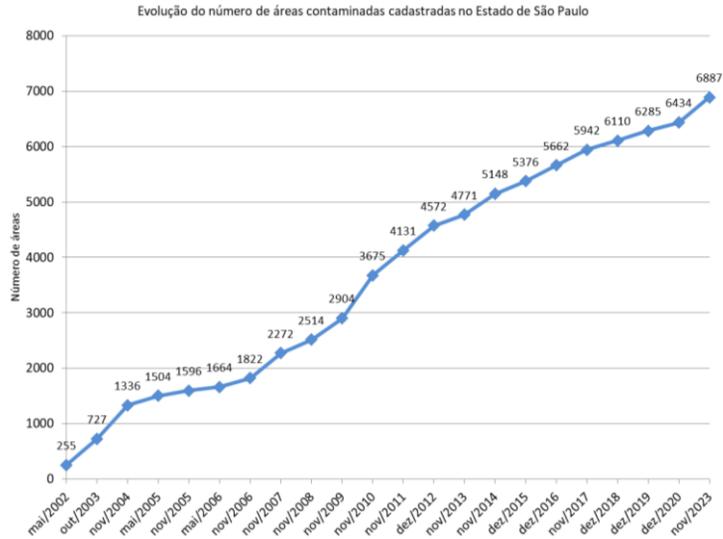
Estágios da biodegradação de polímeros (La FUENTE et al, 2022)



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Remediação de áreas contaminadas

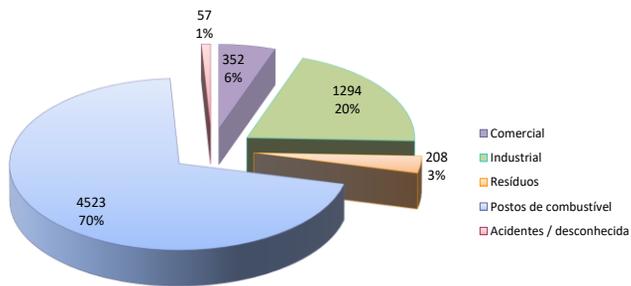


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Remediação de áreas contaminadas

Distribuição de áreas contaminadas no Estado de São Paulo por atividade
 dezembro 2020 - TOTAL: 6434 áreas

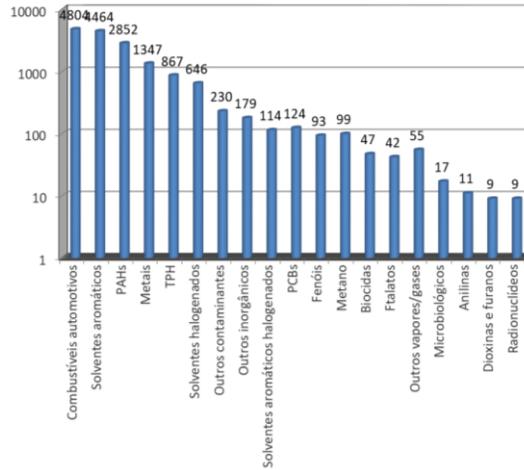


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Remediação de áreas contaminadas

Grupos contaminantes em áreas contaminadas no Estado de São Paulo
- novembro 2023 -

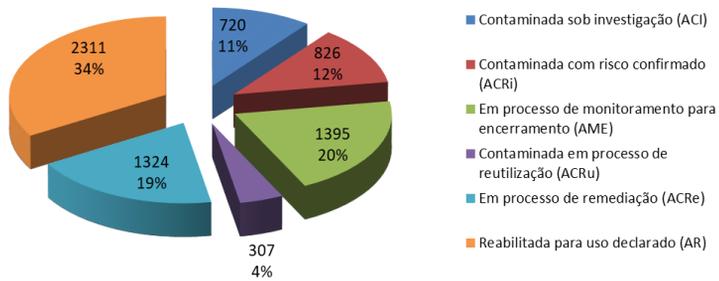


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Remediação de áreas contaminadas

Distribuição de áreas contaminadas no Estado de São Paulo quanto a classificação
- novembro 2020/3 -

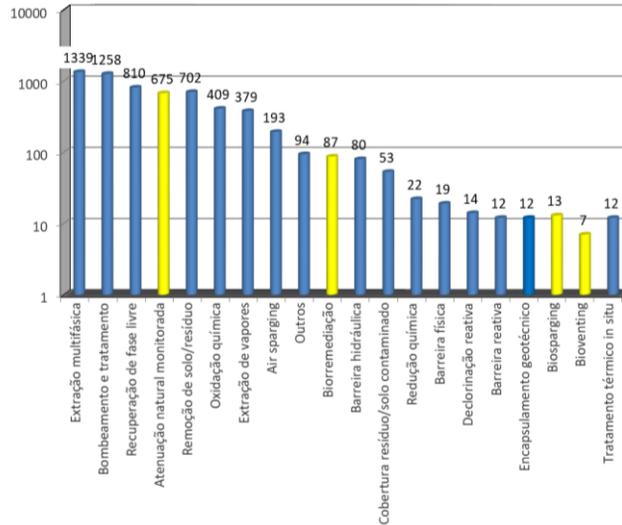


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Remediação de áreas contaminadas

Técnicas de remediação implantadas em áreas contaminadas no Estado de São Paulo
- novembro 2023 -



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

☞ Técnicas *ex-situ* (on-site ou off-site)

- Land farming
- Biopilha
- Biorreatores
- Biodegradação fúngica
- Biofilmes

☞ Técnicas *in situ* (Bioaumento vs. Bioestímulo)

- Tratamento de solo ou *land treatment*
- Biodegradação fúngica
- Biorremediação melhorada de solo e aquífero
- Fitorremediação
- Bioventilação ou *Bioventing*
- *Bioslurping* (extração associada a injeção de ar e/ou nutrientes)
- Atenuação natural monitorada

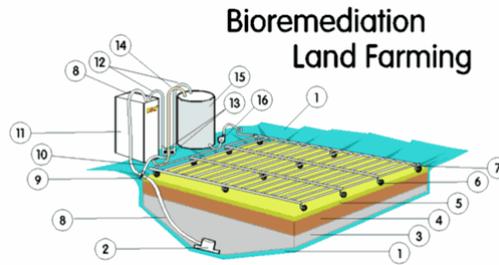


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Landfarming



- * Resíduos sólidos com elevado conteúdo de C
- * Suplementação de N e P
- * Suplementação de O₂
- * Técnica de baixo custo
- * Requer grandes áreas
- * Demanda tempo para remediação (meses)
- * Utilizado pelas petroquímicas brasileiras



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Landfarming

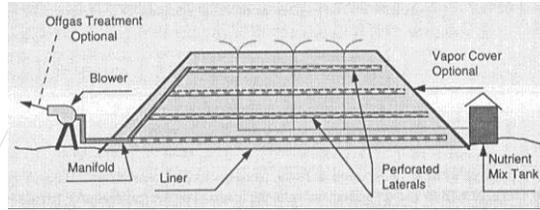


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Biopilha



- * Variação para solos de elevada resistência física
- * Aplicado para situações que requerem maior controle



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Biorreatores



- * A tecnologia do controle total
- * Aplicado a resíduos líquidos
- * Células microbianas em suspensão ou imobilizadas
- * Diversas configurações existentes



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Biorreatores



- * Degradação de PCE em Reator Horizontal de Leito Fixo (RHLF)
- * Uso de consórcio microbiano imobilizado
- * Degradação estratificada

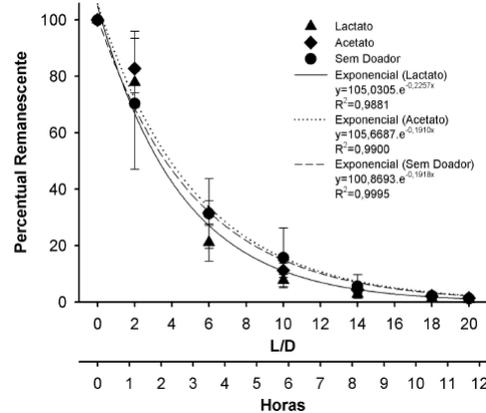


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas

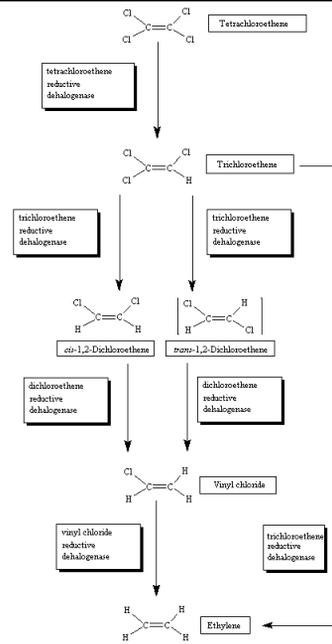


Biorremediação

Biorreatores



Degradação de PCE em RHLF



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Biorreatores



* Biorreator para crescimento de microbiota selecionada de sítio contaminado (Processo BiogeoTec/Microbiol)



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Biorreatores



* Injeção de inóculo enriquecido em poços de injeção (Processo BiogeoTec/Microbiol)

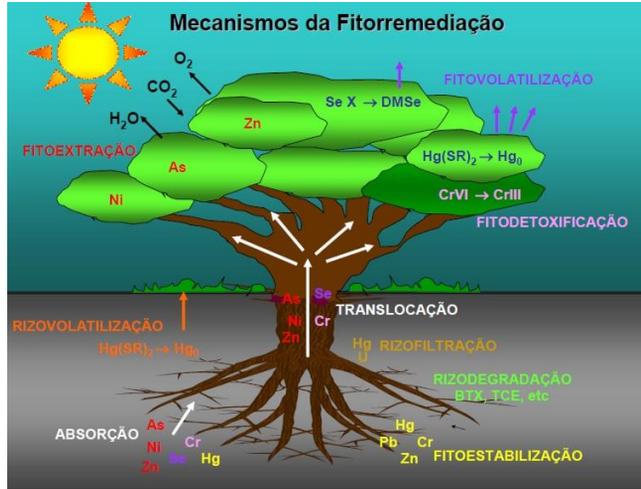


Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Fitorremediação



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



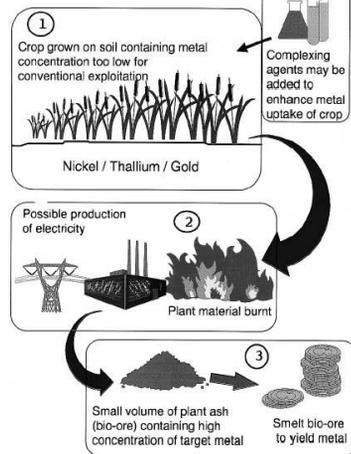
Biorremediação

Fitorremediação



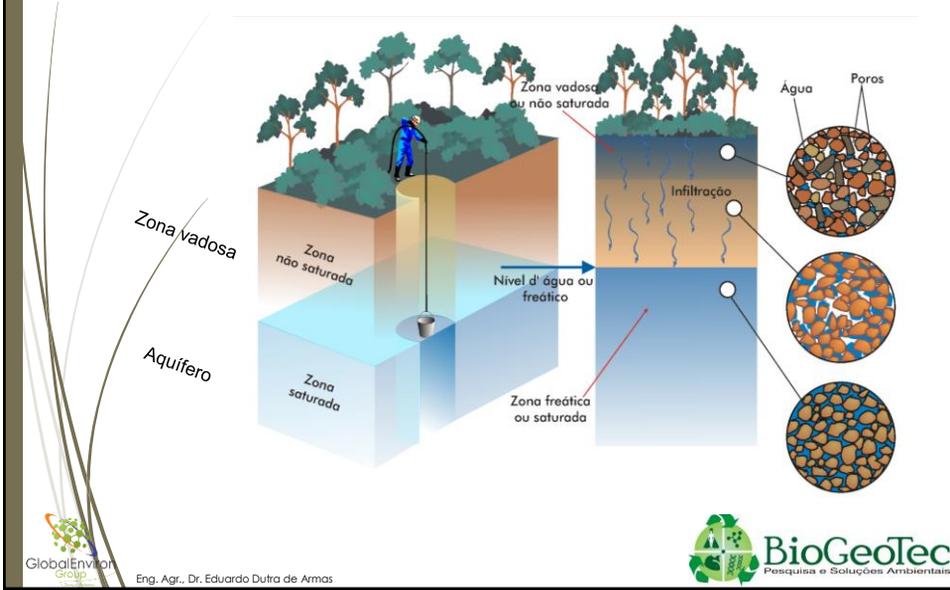
Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas

THE PHYTOMINING OPERATION



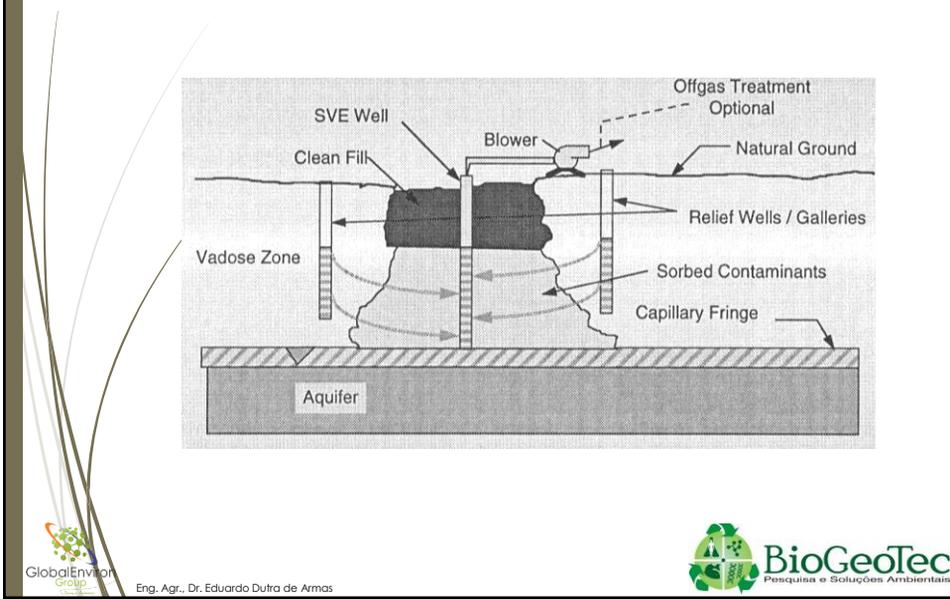
Biorremediação

Bioventing



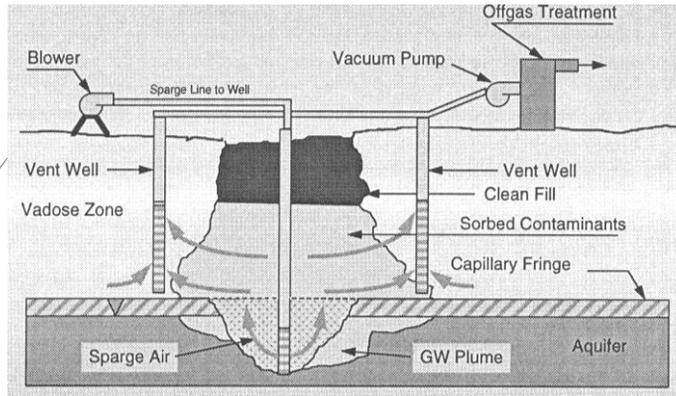
Biorremediação

Bioventing



Biorremediação

Biosparging



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Bioestímulo: Oxidação



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Bioaumento: inoculantes

Ineficiência de inoculações na degradação de xenobióticos

- * Limitação de nutrientes: N, P, O₂
- * Supressão por predadores e parasitas (protozoários, bacteriófagos, espécies produtoras de enzimas líticas)
- * Deficiência em movimentação da bactéria inoculada
- * Utilização de fontes alternativas de C
- * [] do xenobiótico abaixo do limiar de biodegradação



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Bioaumento: inoculantes

Ineficiência de inoculações na degradação de xenobióticos

- * Concentração elevada do xenobiótico (toxicidade)
- * Retenção do xenobiótico (baixa ação do microrganismo)
- * Presença de substâncias tóxicas no meio
- * Necessidade de cometabólitos
- * Temperatura, pH, salinidade
- * Toxinas



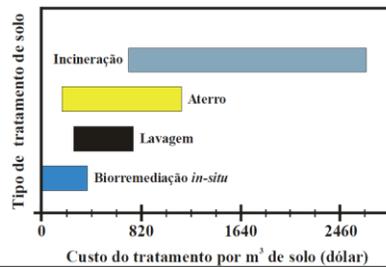
Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Biorremediação

Vantagens da Biorremediação:

- * Possibilidade de ser executada no local contaminado, dispensando transporte de contaminantes
- * Mais econômica que as técnicas convencionais
- * Eliminam permanentemente a contaminação e não simplesmente a transfere para outros meios
- * Boa aceitação da opinião pública
- * Podem ser associadas com outros métodos químicos ou físicos de tratamento, como SVE, para acelerar a remediação



Biorremediação

Limitações da Biorremediação:

- * Diversas substâncias não são susceptíveis à biodegradação (metais pesados, radionuclídeos, alguns organoclorados)
- * Formação de metabólitos tóxicos ou mais persistentes
- * Processos biológicos são frequentemente muito específicos, dependentes de múltiplos fatores condicionantes
- * Manutenção do inóculo em níveis adequados
- * A área pode demandar manutenção e/ou monitoramento contínuo por longo tempo
- * A taxa de degradação é sensível às condições do meio
- * Dificuldade de aplicação em solos argilosos ou com baixa permeabilidade (biorremediação eletrocinética)
- * É menos eficiente em períodos menores de tempo, com maior demanda de tempo para atingir as metas de remediação
- * Requer maior conhecimento técnico

Bibliografia recomendada

- ALEXANDER, M. Biodegradation and bioremediation. 2.ed., 1999.
- KING, R.B. et al. Practical Environmental Bioremediation: the field guide. 1997.
- STEGMANN, R. Treatment of contaminated soil: fundamentals, analysis, applications. 2001.
- WISE, D.L. et al. Bioremediation of contaminated soils. 2000.
- WISE, D.L. & TRANTOLO, D.J. Remediation of hazardous waste contaminated soils. 1994.



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas



Muito Obrigada!



Eng. Agr., Dr. Eduardo Dutra de Armas

