

**Instituto Federal do Piauí**

**Disciplina: Microbiologia dos alimentos**

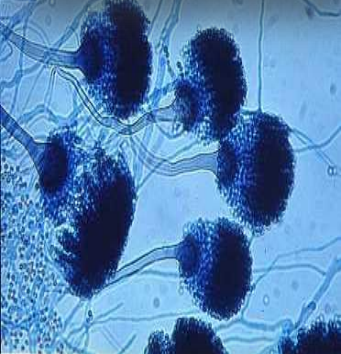
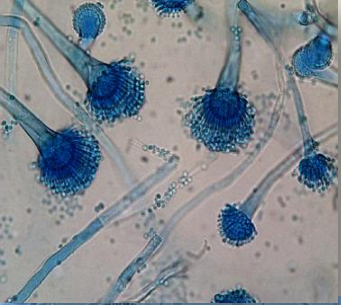
**Prof. Regiane Gonçalves**

# **BIORREMEDIAÇÃO**

**Gabriella Magalhães**

**Gislayne Bianca**

**Teresa Raquel Brito**



# **BIORREMEDIAÇÃO**

**Aspectos gerais e aplicação**

# O que é Biorremediação?

- Processo que utiliza agentes biológicos, particularmente os micro-organismos, para remover poluentes tóxicos do ambiente, principalmente:
  - Águas superficiais, subterrâneas e solo;
  - Resíduos e efluentes industriais em aterros ou áreas de contenção.

**(GAYLARDE, 2005)**

## O que é Biorremediação?

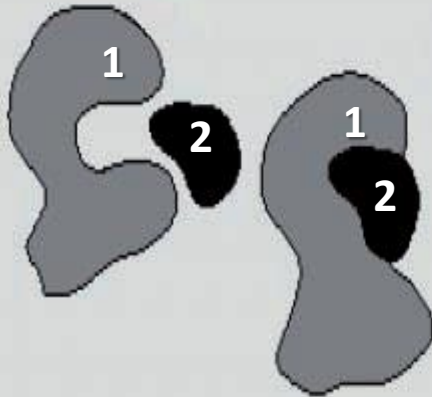
- Os poluentes são decompostos então, em substâncias atóxicas por meio do metabolismo microbiano.
- Não oferece riscos ao ambiente e às populações habitantes próximas.



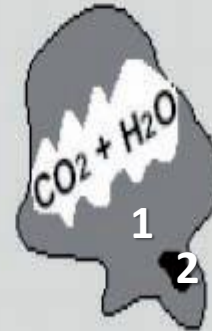
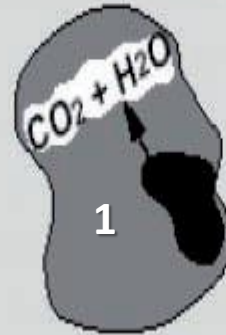
**Legenda:**

1- Micro-organismo

2- Contaminante (como petróleo ou outro composto orgânico)



**Micro-organismo  
metaboliza o  
contaminante  
orgânico**



**Micro-organismo digere o  
contaminante e o converte  
em gases inócuos (CO<sub>2</sub>) e  
em água (H<sub>2</sub>O)**

**Micro-organismo  
libera CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O no  
local de tratamento**

# Histórico

- A Biorremediação como processo tecnológico não é um tema novo:
  - Surgiu a partir dos trabalhos de Pasteur em 1860, quando ele descobriu os micro-organismos anaeróbios promovendo um grande salto na busca de qualidade de vida da humanidade.
- São usados desde 600 a.C. pelo romanos e outros para tratar seus efluentes.

## **Histórico**

- Desde a década de 50, vêm sendo isoladas bactérias e fungos degradadores;
- Na década de 80 a Biorremediação se consolidou como líder no rol das tecnologias inovadora na remediação de áreas degradadas;
- Por ser um processo natural promove um tratamento adequado ao meio;
- Seu custo é relativamente baixo quando comparado à outras alternativas convencionais de tratamento de resíduos sólidos.

# Onde pode ser empregada?

- Atacar contaminantes específicos no solo e águas subterrâneas:
  - Como a degradação de hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados pelas bactérias.
    - limpeza de derramamentos do óleo pela adição dos fertilizantes de nitrato ou de sulfato para facilitar a decomposição do óleo  
Pelas bactérias presentes no meio.





## Biorremediação

- Atualmente a biorremediação compreende:
  - micro-organismos, plantas, enzimas e a interação entre eles.
- Fundamentada em três aspectos principais:
  - ✓ Existência de microrganismos com capacidade catabólica para degradar o contaminante;
  - ✓ O contaminante deve estar disponível ou acessível ao ataque microbiano ou enzimático;
  - ✓ Condições ambientais adequadas para o crescimento e atividade do agente biorremediador.

## Biorremediação

- Principais dificuldades:
  - Heterogeneidade do rejeito;
  - Alta concentração do contaminante;
  - Condições adequadas para o crescimento microbiano.



# Biorremediação – *In situ* ou *ex situ*

- "in-situ" :
  - Envolve tratar o material contaminado no próprio local.
    - Atenuação natural; bioaugmentação; bioestimulação; fitorremediação e “landfarming”.
- "ex-situ" :
  - Consiste na remoção do material contaminado para tratamento em local externo ao de sua origem.
    - Compostagem e biorreatores.

- **Atenuação natural: Biorremediação passiva ou intrínseca.**
  - o contaminante permanece no local e, através de processos naturais como biodegradação, volatilização, diluição e sorção, ocorre a descontaminação do ambiente.
    - Lenta;
    - exigindo o uso conjunto de outras técnicas;
    - monitoramento do local por longos períodos de tempo;
      - Visando a proteção da saúde do homem e do ambiente.

- Bioaugmentação:
  - inoculação de um local contaminado com microrganismos com alto potencial de degradação dos contaminantes;
  - Mais usado quando o solo recebe um xenobiótico e não há populações microbianas capazes de degradar eficientemente este composto.

- Bioestimulação:
  - Nutrientes orgânicos e inorgânicos podem ser adicionados ao solo visando a estimular a atividade dos microrganismos degradadores.
  - A técnica deve ser precedida de criteriosa avaliação, visando a determinar os nutrientes e as doses que necessitam ser adicionados ao solo.

## Biorremediação – *In situ* ou *ex situ*

- Fitorremediação:
  - utiliza plantas para remediar o solo contaminado por metais pesados, compostos orgânicos e radionuclídeos.
  - fitoestimulação, em que ocorre a estimulação da atividade dos microrganismos degradadores dos contaminantes pela rizosfera da planta:

- *O landfarming:*
  - resíduos com alta concentração de carbono orgânico são aplicados periodicamente no solo;
  - Se os resíduos tratados apresentarem componentes tóxicos, a operação do *landfarming* deverá ser licenciada pelas agências de proteção ambiental.



## Biorremediação – *In situ* ou *ex situ*

- Usada pelas refinarias e indústrias petroquímicas de vários de países, inclusive do Brasil:
  - simplicidade de operação e à alta taxa de aplicação dos resíduos ao solo.
  - Se houver erros podem haver casos de contaminação superficial do solo.

## Biorremediação – *In situ* ou *ex situ*

- A compostagem é uma técnica *ex situ*:
  - pode ser utilizada para o tratamento do solo contaminado com HAPs.
  - o solo normalmente é removido do local de origem e colocado na forma de pilhas;
  - os microrganismos aeróbios irão degradar os contaminantes orgânicos, transformando-os em material orgânico estabilizado, CO<sub>2</sub> e água.

- Biorreatores: Ilustrativamente comparados a tanques aéreos fechados.
  - O solo contaminado é misturado com água, de modo a formar uma suspensão com 10 a 40% de sólidos, que é mecanicamente aerada através de rotações.
  - A formação desta suspensão no interior do biorreator possibilita o aumento da disponibilidade dos contaminantes aos microrganismos degradadores e a eliminação da heterogeneidade da distribuição dos contaminantes no solo.

- interior do biorreator, as condições ambientais:
  - pH, a disponibilidade de nutrientes, a aeração e a temperatura são otimizadas para o máximo crescimento microbiano;
  - Possível também a inoculação de microrganismos comprovadamente degradadores dos contaminantes.

# Fatores físico-químicos da biodegradação

- Físicos:
  - Natureza física da matriz onde o composto é encontrado (solo, água, sedimento).
  - Temperatura;
  - Luz .
- Químicos:
  - Composição química da matriz ambiental, que define a capacidade nutritiva;
  - pH;
  - Umidade;
  - Teor de oxigênio dissolvido;
  - O potencial redox do meio;
  - Composição e estrutura química do poluente.

**(GAYLARDE, 2005)**

# Fatores biológicos da biodegradação



- Depende: Presença de micro-organismos capazes de metabolizar as moléculas e seus subprodutos:
- Enzimas;
  - Não existe rotas metabólicas capazes de degradar todos os novos compostos sintetizados pelo homem.
  - Alguns xenobióticos (estranhas ao meio ambiente natural) podem ser biodegradados.

(GAYLARDE, 2005)

## Fatores biológicos da biodegradação

- Alguns MOs possuem enzimas capazes de catabolizar moléculas específicas ou podem agir em consórcios microbianos;
  - Xenobióticos de estrutura semelhante a estruturas de moléculas naturais;
- Enzimas que catabolizam a degradação de compostos naturais podem apresentar baixa especificidade e reconhecer os xenobióticos de estrutura semelhante.

(GAYLARDE, 2005)

## Fatores biológicos da biodegradação

- Alguns compostos são parcialmente degradados – produto resultante não contribui para a sobrevivência do micro-organismo.
  - Co-metabolismo – pode servir de substrato para outra espécie microbiana – degradação completa do xenobiótico.
- Troca de material genético:
  - Troca de plasmídeos entre bactérias da mesma espécie ou de espécie diferente;
    - Disseminação de genes relacionadas ao metabolismo catabólico de moléculas recalcitrantes.

(GAYLARDE, 2005)



# USO DE BACTÉRIAS NO TRATAMENTO DE SOLO

- Filtro natural para resíduos (propriedades físicas, químicas e biológicas).
- Gêneros de bactérias mais importantes: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium* e *Pseudomonas*.
- O crescimento bacteriano é estimulado com a adição de nutrientes processo conhecido como **bioestimulação**. Ex: Nitrogênio, fósforo e oxigênio.

(MANAHAN, 2013)

## USO DE BACTÉRIAS NO TRATAMENTO DE SOLO

- **Compostagem:** Biodegradação de materiais sólidos ou solidificados em um meio diferente do solo.
  - Depende da seleção de micro-organismos adequados (inóculos); oferta de oxigênio, teor de umidade (mínimo de 40%) e pH (próximo a neutralidade) e temperatura.



(MANAHAN, 2013)

- Os solos contaminados com produtos derivados de petróleo, compostos fenólicos, solventes organoclorados pouco clorados são **tratados por biorremediação aeróbia *in situ***.
  - Consiste em estimular o crescimento da população microbiana nativa do solo (indigenous) adicionando ao solo nutrientes e oxigênio e estabelecendo condições.
  - Só se aplicam a solos permeáveis o suficiente para permitir a introdução de oxigênio e nutrientes.

(SCHMIDT, 2010)

• Uso de **biorremediação intrínseca** pela ação dos microorganismos sem intervenção humana. Atuam reduzindo a massa, toxicidade, mobilidade ou concentração dos contaminantes no **solo e águas subterrâneas**.

Ex: *Bacillus hexabovorum* na ação de hidrocarbonetos BTEX (Tolueno, Xileno) presentes em gasolina e óleo diesel. *Pseudomonas putida* metabolização de benzeno, tolueno e p-xileno.

- Dividem-se em: Processos destrutivos com o uso de a biodegradação aeróbia e anaeróbia, e não destrutivos.

(MANAHAN, 2013)

- Uso de bactérias na degradação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs/PAHs) que se acumulam no ambiente.(JACQUES, *et al.*, 2007)

Ex: *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Beijerinckia*,  
*Flavobacterium*, *Nocardia*, *Corynebacterium*,  
*Sphingomonas*, *Mycobacterium*,  
*Stenotrophomonas*, *Paracoccus*, *Burkholderia* e  
*Microbacterium*.

- Papel na recuperação de ecossistemas pela aceleração da biodegradação dos **hidrocarbonetos provenientes de vazamentos** pela produção de micro-organismo surfactantes sintéticos atuando em faixas pequenas de pH e temperatura.(JACQUES, *et al.*, 2007)
- Empregada para **atacar hidrocarbonetos clorados em derramamentos de óleo** pela adição dos fertilizantes de nitrato ou de sulfato para facilitar a decomposição do óleo pelas bactérias locais ou exteriores. (PINTO, 2006).

# FITORREMEDIAÇÃO E POTENCIAL MICROBIANO

- Aumento do potencial do solo para degradar contaminantes. Ex: Composto de hidrocarbonetos.
- Requer o uso de espécies de plantas apropriadas que podem alterar benéficamente a diversidade microbiana para a remediação do solo.

(SICILIANO, *et al.*, 2003)

# TRATAMENTO DE EFLUENTES

## Residuárias

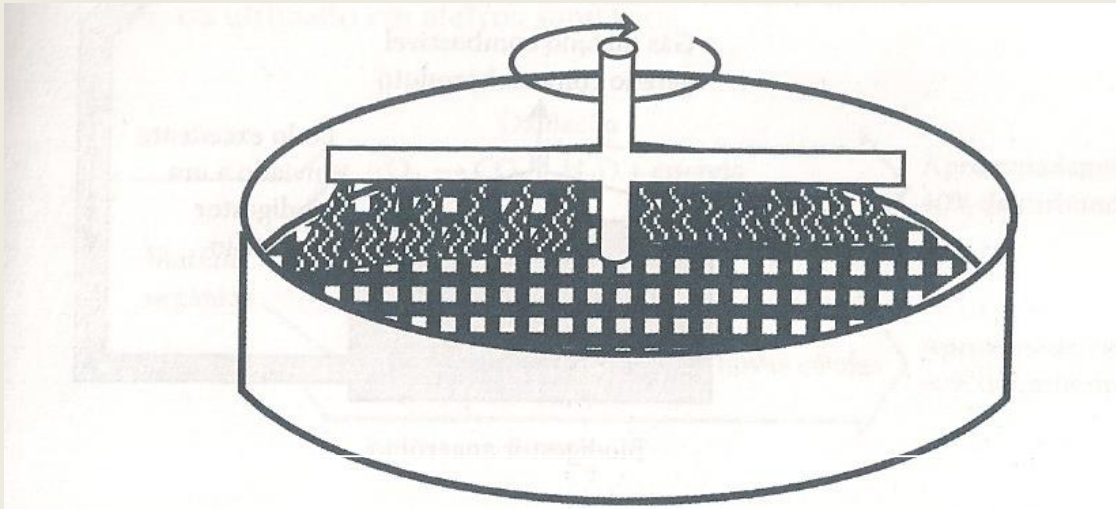
- Os processo de tratamento são divididos em três categorias.
  - Tratamento primário: remoção de partículas grossas e materiais insolúveis.
  - Tratamento secundário: processos biológicos.
  - Tratamento terciário: processos executado nos efluentes de tratamento secundários.

(MANAHAN, 2013)



# Processos biológicos ou bioquímicos

- Pode ocorrer por oxidação (tratamento biológico) ou redução (digestão do lodo).
- Se compõe de processos aeróbios e adsorção. Trata-se de fenômenos de superfície proveniente das membranas e dos flocos aos quais vivem as bactérias. Ex: Filtro biológico



(MANAHAN, 2013)

Filtro biológico para o tratamento secundário de efluentes

- A atividade anaeróbica das bactérias não necessita de equipamento de aeração artificial e tem geração de biogás. Os produtos finais são metano e compostos inorgânicos.
- É um processo importante na decomposição do lodo de esgotos nos digestores em reatores . São realizadas por processos de digestão ácida e metânica.
- Transformação de lipídeos em lodo ativado em pregando *Microthrix parvicella*

## **Efluentes industriais**

- Remoção de resíduos orgânicos com tratamento biológico e lodo ativado

(MANAHAN, 2013)

# Fungos

- Domínio Eukarya;
- São heterótrofos ( decompositores da matéria orgânica);
- Amplamente distribuídos na natureza:
  - Ar (fungos anemófilos), água, solo, vegetais e animais.

(RODRIGUES,2012)

# Potencial dos fungos em processos de Biorremediação

- Tolerância a suportar variações grandes de pH;
- Capacidade de suportar oscilações de carga orgânica, estabelecendo-se predominantemente em biofilmes submetidos à carga orgânica volumétrica elevada;
- Adequada adaptação às condições limitantes de nutrientes e de oxigênio.

(RODRIGUES,2012)

## Potencial dos fungos em processos de Biorremediação

- Produção de um número elevado de enzimas:

**Celulases, ligninases, oxidases, etc.**

– Favorecem a assimilação dos mais diferentes substratos, inclusive de compostos de grande peso molecular e estruturalmente complexos:

- Corantes, pesticidas, xilenos e toluenos.

**(RODRIGUES,2012)**

# Controle de variáveis

- Otimiza o trabalho dos fungos:
  - Objetivos e metas a serem alcançados:
    - Produto final;
    - Substratos a serem consumidos;
    - Eficiência.

VARIÁVEIS	
Tamanho do inóculo	Agitação
pH	aeração
Pressão de CO <sub>2</sub>	Temperatura

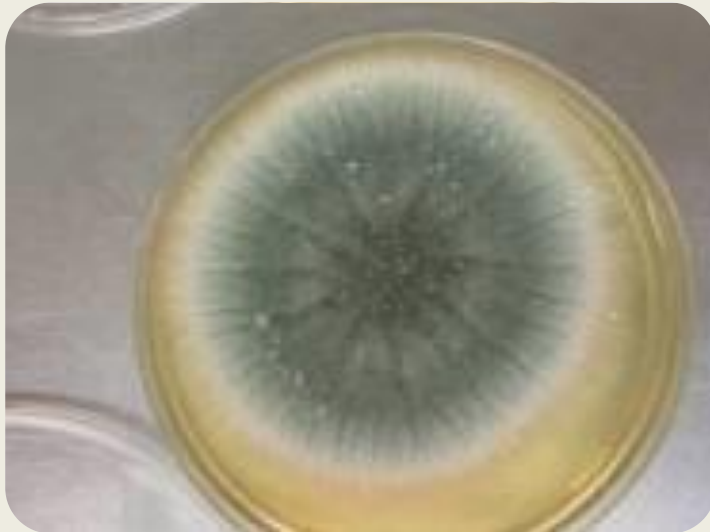
# Fungos no tratamento de águas residuárias industriais

- A água é um dos bens mais preciosos e importantes para a sobrevivência.
- Crescimento demográfico, desenvolvimento industrial e tecnológico:
  - Necessidade de um rigoroso controle das diversas formas de poluição:
    - Efluentes domiciliares e industriais.

(RODRIGUES, 2012)

## Fungos no tratamento de águas residuárias industriais

- Gênero *Aspergillus*:
  - Utilizam compostos xenobióticos como fonte primária de carbono;



(RODRIGUES, 2012)



## Fungos no tratamento de águas residuárias industriais

- *Aspergillus niger* – importante papel biotecnológico.
- É usado na produção de ácidos orgânicos e enzimas.
- Tecnologia do saneamento (laboratorial)
  - Pode ser usado no tratamento de efluentes contendo corantes têxteis, compostos fenólicos e compostos nitrogenados, BTX.
- *Aspergillus ornatus* – Eficiente na remoção de compostos fenólicos;

(RODRIGUES,2012)

## Fungos no tratamento de águas residuárias industriais

- *Phanerochaete chrysosporium* – mais comum dos fungos associados à degradação microbiana.
  - Usado na Biorremediação de efluentes têxteis;
  - Áreas contaminadas com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs);
  - De efluentes de branqueamento de papel Kraft;
  - De águas contaminadas com antraceno.

(RODRIGUES,2012; MENDES, 2005)

# Fungos no tratamento do solo

- Assim como as águas o solo também sofre contaminação por compostos xenobióticos recalcitrantes.

FUNGOS	CONTAMINANTES
<i>Aspergillus</i>	Herbicidas triazínicos
<i>Penicillium</i>	Herbicidas triazínicos
<i>Aspergillus versicolor</i>	Óleo cru
<i>Lentinus Crinitus</i>	Pentaclorofenol

(COLLA, 2008; MACEDO,2002)

# Solo com hidrocarbonetos

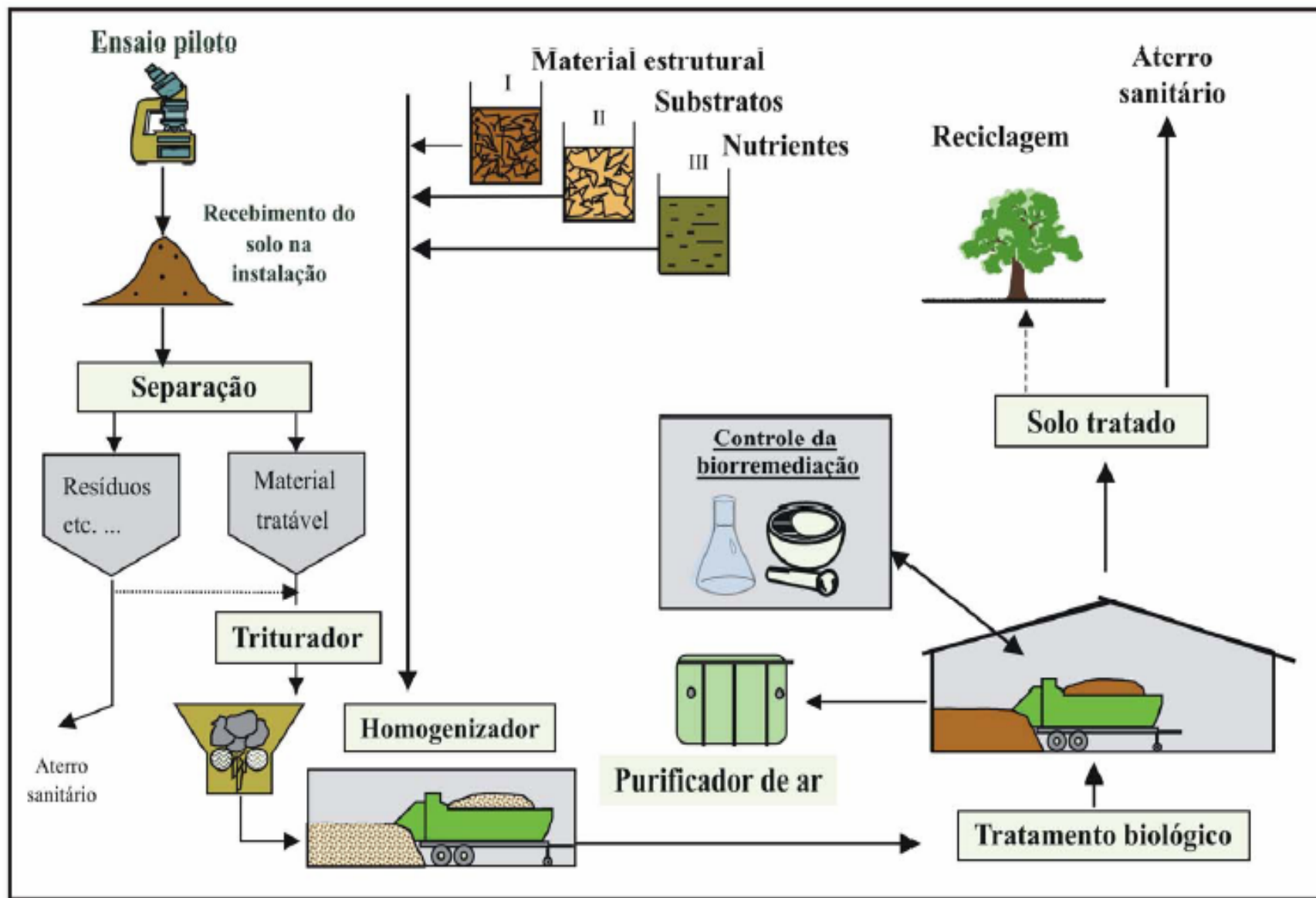


Figura 21 – Diagrama esquemático do processo Terraferm® aplicado ao solo contaminado na estação de biorremediação, Paulínia – SP.