

# **Pesquisa e Desenvolvimento de Biorreator para Tratamento de Solo**

**Rodnei Pinto Soares**

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

**Ronaldo Luiz Correa dos Santos**

Orientadora, Eng. Químico, M. Sc.

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Co-orientadora, Eng. Química, M. Sc.

## **Resumo**

Ao longo dos últimos oito anos o CETEM, a EQ-UFRJ e a Petrobras vêm desenvolvendo uma tecnologia para remediação *ex situ* de solos contaminados por petróleo, através da confecção de um biorreator. Esse projeto foi realizado em três etapas e seus escopos e principais resultados serão aqui apresentados. Na primeira etapa, foram caracterizados dois solos contaminados por petróleo, a fim de avaliar o grau de contaminação dos mesmos e a potencialidade da aplicação do tratamento biológico dos mesmos. Na segunda etapa, em escala de bancada, foi proposta a avaliação de diferentes configurações de biorreator. A terceira etapa foi focada no desenvolvimento de um biorreator em escala piloto de volume útil de 800L e carga de 400kg de solo, baseado no protótipo que apresentou o melhor desempenho em escala de bancada, com a premissa de minimizar o consumo de energia, e tornar o sistema o mais automatizado possível. Os resultados foram considerados satisfatórios, visto que foi alcançada uma taxa de remoção de HTP de 26% / mês, demonstrando assim, a viabilidade técnica da aplicação da tecnologia proposta.

## **1. Introdução**

A variedade de poluentes orgânicos gerados pelo constante aumento da atividade industrial é uma das causas diretas dos problemas relacionados ao meio ambiente e à saúde (SPAIN et al., 2000; PAUL et al., 2005). Os hidrocarbonetos de petróleo são exemplos desses compostos amplamente usados na sociedade moderna. Como consequência disso, ocorre a possibilidade de impactos ambientais.

A necessidade de tratamento das áreas contaminadas acarretou no desenvolvimento de novas tecnologias que buscavam a degradação de óleos dos solos contaminados. A biorremediação, que se baseia no uso de microrganismos ou processos microbianos para a degradação de contaminantes, é uma dessas novas tecnologias que tem sido aceita como das mais promissoras. No caso da contaminação orgânica de solos, particularmente, os microrganismos são capazes de degradar a maioria desses compostos para suprir suas necessidades energéticas e de crescimento. Assim, as tecnologias de biorremediação lançam mão das habilidades mostradas pelos microrganismos de forma a maximizar a remediação das áreas impactadas (ALEF & NANNIPIERI, 1995).

Ao longo dos últimos 8 anos (1999-2007) o CETEM, a EQ-UFRJ e a Petrobras vêm buscando desenvolver uma tecnologia para a remediação *ex situ* de solos contaminados por petróleo, através da confecção de um

biorreator. Esse projeto deu origem ao pedido de privilégio de invenção no INPI (PI05020905) intitulado “Biorreator horizontal e processo de biorremediação de solos argilosos utilizando dito reator”. O projeto constitui-se de basicamente três etapas de desenvolvimento, e o foco do presente trabalho será a terceira fase, isto é a confecção do biorreator em escala piloto, de volume útil de 800 litros e carga de 400 kg, que foi avaliado principalmente em termos do percentual de remoção de HTP (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), a sua efetividade na automação do processo de operação e a elaboração de um manual de operação, com uma linguagem adequada a trabalhadores de campo de uma unidade da Petrobras, para onde o biorreator será transportado e testado.

## 2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivos:

- Apresentar, de uma forma geral, a evolução do Projeto Biorreator ao longo do tempo, bem como seus principais resultados obtidos.
- Apresentar a unidade piloto (biorreator), desenvolvida, e instalada no CETEM, enfatizando o uso dos principais benefícios do sistema supervisorado instalado.
- Apresentar brevemente o manual de operação do biorreator que se encontra em fase de desenvolvimento.

## 3. Descrição prévia do histórico do projeto

Conforme citado anteriormente, esse projeto foi realizado em três etapas principais, as quais são sucintamente apresentadas na Figura 1.

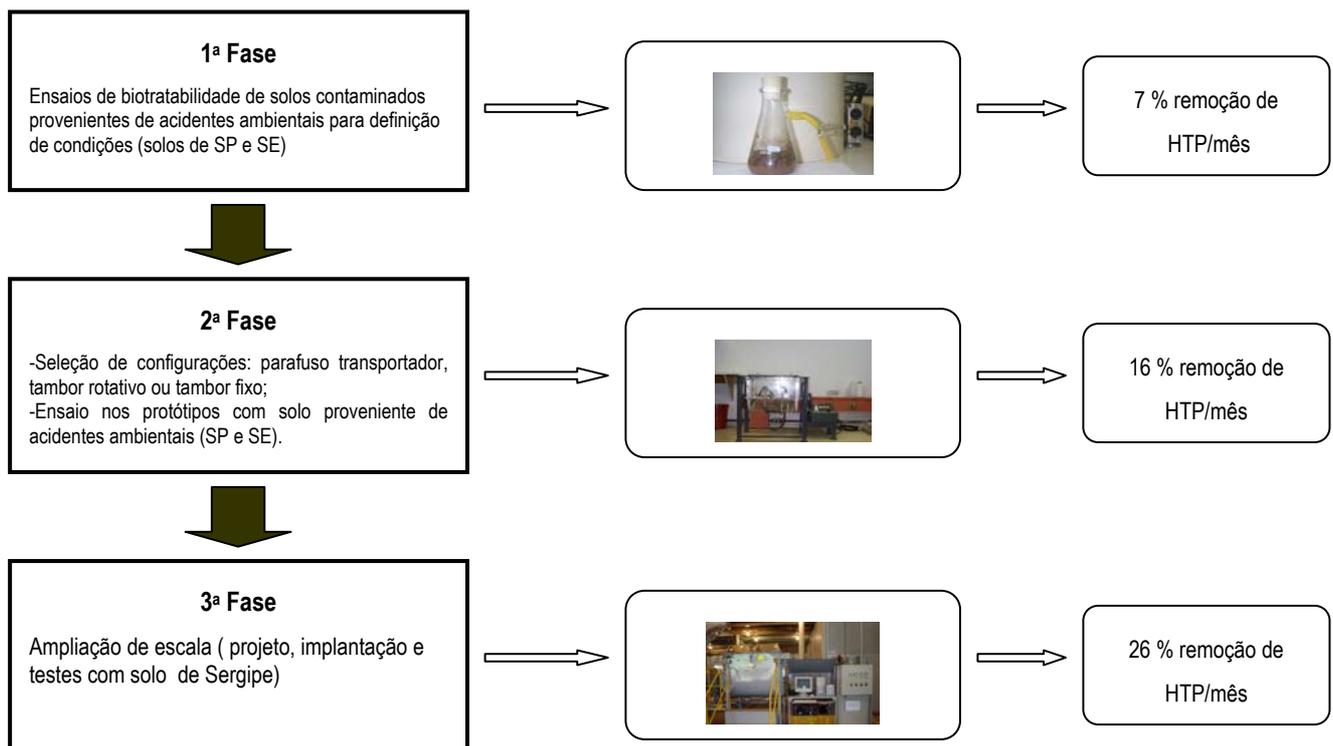


Figura 1 – Fluxograma das três fases do projeto biorreator

Verifica-se que o processo de otimização do sistema de tratamento proposto refletiu de forma direta e positiva nas remoções percentuais do contaminante do solo de 7% de remoção de HTP/mês em microcosmos para 26% de remoção de HTP/mês na unidade piloto. Essa otimização envolveu basicamente os sistemas de agitação e a aeração do solo, itens fundamentais do processo de biorremediação, sendo responsável por um aumento de 3,7 vezes no percentual de remoção mensal de HTP.

#### 4. Características do biorreator e do sistema supervisório

##### 4.1 Biorreator

O biorreator é constituído de uma carcaça metálica e cilíndrica (Figura 2(a)), que contem no seu interior um eixo agitador com pás acopladas (Figura 2(b)). A melhor configuração de pás a ser adotada foi definida pela associação de dois modelos testados nos biorreatores de bancada, combinando o formato de “dentes” mais longos com maior espaçamento entre si, que apresentaram o melhor desempenho nos testes realizados na segunda etapa do processo (SILVA, 2006). O biorreator encontra-se ligado a um sistema de controle computadorizado que utiliza o software ELIPSE SCADA® com a finalidade de supervisionar e automatizar os componentes do sistema (agitação, aeração, introdução de aditivos), bem como o controle das variáveis do processo (temperatura, umidade, concentração de CO<sub>2</sub>). A utilização do software ELIPSE SCADA® representou um ganho em termos de automação e controle do processo quando comparada com os protótipos de bancada utilizados na segunda etapa do projeto. Nestes todo o acompanhamento foi realizado de forma manual.

O referido biorreator e o sistema supervisório foram desenvolvidos em parceria com a empresa Albrecht Equipamentos Industriais LTDA, especializada na confecção de protótipos (Figura 3), a partir dos modelos e controles definidos na 2ª fase do projeto (protótipo de biorreator em escala laboratorial) pela equipe de pesquisadores do CETEM, da EQ-UFRJ e Petrobras.



Figura 2 – Imagem da unidade piloto do biorreator (a) e das pás agitadoras no seu interior(b)

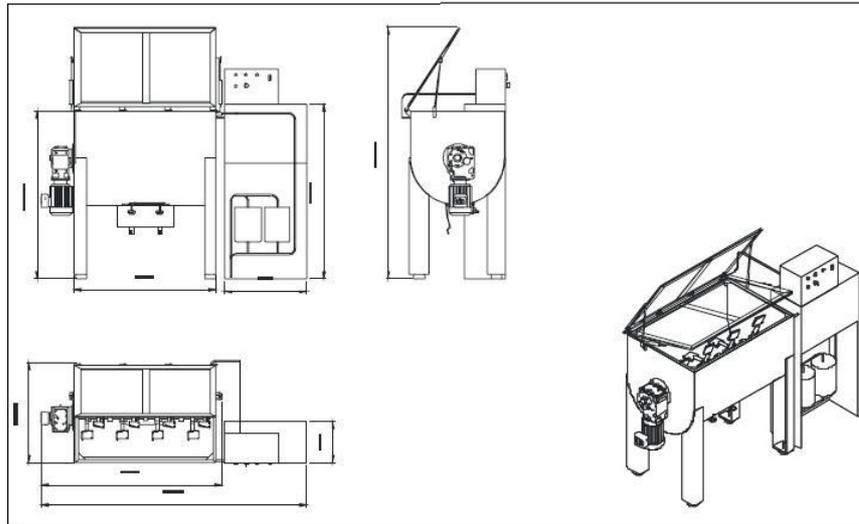


Figura 3 – Desenho esquemático do biorreator em escala ampliada e fase de confecção da empresa Albrecht

#### 4.2 Sistema Supervisório e Software de controle

O software instalado e que atua supervisionando o biorreator é o ELIPSE SCADA® que apresenta a interface “BIO REATOR BRL-400” (Figura 4), pode-se observar todas as possibilidades de controle e automação do processo. Pode-se visualizar o desenho esquemático do biorreator com o motor do eixo de agitação ativado com velocidade pré-fixada de 3rpm. Conectados ao biorreator existem o compressor de ar e os cilindros para introdução de aditivos (água, nutrientes, etc). Essa adição é controlada e programada de acordo com parâmetros pré-estabelecidos para tratamento do solo contaminado e programados na tela de estabelecimento das condições de processo que será apresentada mais à frente (Figura 5). A dosagem dos aditivos e do ar é realizada através das válvulas solenóides acopladas na parte traseira do biorreator. Na tela da Figura 4, pode-se verificar ainda o tempo decorrido de processo, o tempo de rotação do motor e tempo de dosagem de nutrientes, os quais podem ser configurados através da tela de programação dos parâmetros (figura 5).

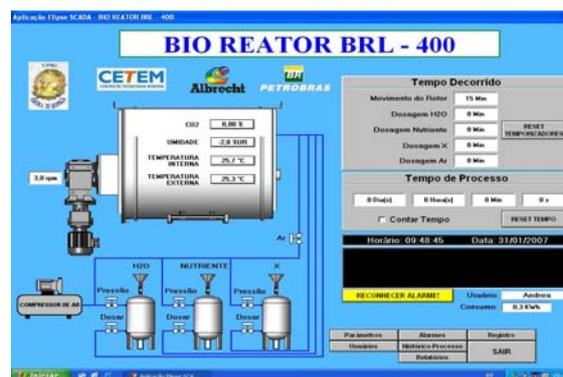


Figura 4 – Interface do software ELIPSE SCADA® BIO REATOR BRL - 400

Além disso pode-se acompanhar o consumo energético para cada teste realizado. Os alarmes e as intervenções realizadas pelos usuários são também registrados e visualizadas nesta mesma tela.

A tela do ELIPSE SCADA® possui botões que podem ter acesso rápido a usuários, alarmes, registros, parâmetros, histórico do processo e relatórios. O botão relatórios, nos permite a visualização do relatório do

processo (Figura 5), onde se pode assim, imprimir todos os dados do processo em tempo real de funcionamento do biorreator, obtendo a evolução dos parâmetros (CO<sub>2</sub>, umidade, temperatura) do processo.

No desenho do corpo do reator visualizam-se os valores dos parâmetros de acompanhamento de processo a saber: concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura interna do reator, temperatura externa e umidade. A concentração de CO<sub>2</sub> é obtida através do medidor Servomex instalado e acoplado ao software supervisor (Figura (6a)). A amostra gasosa do interior do biorreator é succionada, passa por um condensador termoelétrico onde ocorre a remoção de toda a umidade presente nesta, e é então encaminhada para o medidor de CO<sub>2</sub> visualizada na tela do computador. A umidade removida pode ser direcionada para o tanque de água para ser utilizada durante a correção de umidade do solo. Os valores de temperatura e umidade, por sua vez, são obtidos através do aparelho TESTO (Figura 6(b)) e acoplado ao software supervisor.

Relatório Bio Reator BRL-400

Data	Hora	Temp Exte	Temp. Reator	SP Umidade	FV Umidade	SP CO2 Alto	SP CO2	FV CO2	Dias	Horas	Consumo
14/10/05	13:25	36 °C	35 °C	80 %UR	72 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7152 ppm	0	0	0 kWh
14/10/05	13:35	36 °C	35 °C	80 %UR	75 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7521 ppm	0	0	0 kWh
14/10/05	13:45	37 °C	35 °C	80 %UR	76 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7644 ppm	0	0	0 kWh
14/10/05	13:55	37 °C	36 °C	80 %UR	77 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7717 ppm	0	0	0 kWh
14/10/05	14:05	37 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7781 ppm	0	0	0 kWh
14/10/05	14:15	37 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7869 ppm	0	1	0 kWh
14/10/05	14:25	37 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7958 ppm	0	1	0 kWh
14/10/05	14:35	37 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	7988 ppm	0	1	0 kWh
14/10/05	14:45	37 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8104 ppm	0	1	0 kWh
14/10/05	14:55	38 °C	37 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8138 ppm	0	1	0 kWh
14/10/05	15:05	37 °C	37 °C	80 %UR	79 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8220 ppm	0	1	1 kWh
14/10/05	15:15	37 °C	37 °C	80 %UR	79 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8278 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	15:25	36 °C	36 °C	80 %UR	60 %UR	9000 ppm	8000 ppm	5107 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	15:35	36 °C	36 °C	80 %UR	75 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8984 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	15:45	36 °C	36 °C	80 %UR	78 %UR	9000 ppm	8000 ppm	9026 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	15:55	35 °C	35 °C	80 %UR	80 %UR	9000 ppm	8000 ppm	9035 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	16:05	35 °C	35 °C	80 %UR	81 %UR	9000 ppm	8000 ppm	8987 ppm	0	2	1 kWh
14/10/05	16:15	35 °C	35 °C	80 %UR	69 %UR	9000 ppm	8000 ppm	5901 ppm	0	3	1 kWh
14/10/05	16:25	35 °C	35 °C	80 %UR	76 %UR	9000 ppm	8000 ppm	3865 ppm	0	3	1 kWh

Figura 5 – Impressão de um relatório de processo



Figura 6 –Aparelhos Servomex (a) e TESTO (b)

A maior automação e controle do biorreator podem ser verificados através da tela dos parâmetros (Figura 7), onde são pré-fixadas todas as condições fundamentais ao desempenho do tratamento, como a configuração do tipo de rotação do rotor (rotação alternada ou contínua), sentido de rotação (rotação horária ou anti-horária), tempo de rotação e velocidade de rotação. Pode-se, ainda, configurar o tempo de acionamento das válvulas dosadoras e as configurações das variáveis de controle automático da atmosfera interna do biorreator (concentração de CO<sub>2</sub> e umidade).

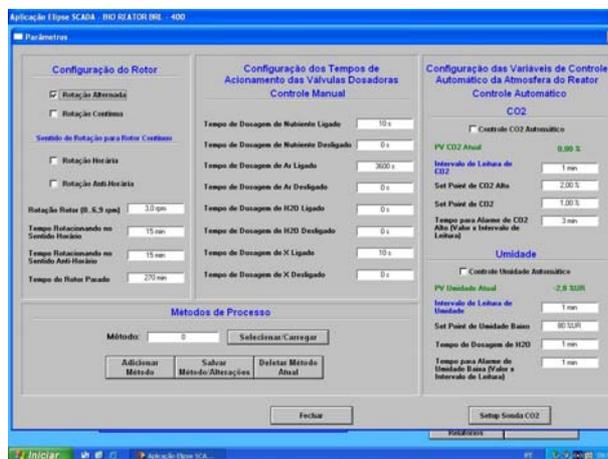


Figura 7 – Tela de estabelecimento de parâmetros do processo

## 5. Manual de operação do biorreator

A elaboração do manual de operação visa descrever e explicar sucintamente o funcionamento do biorreator e seu sistema de controle, focando desde o método de carregamento e acionamento, até os detalhes de controle e automação do biorreator através software ELIPSE SCADA®. Dentre os principais itens que farão parte do manual destacam-se as características do biorreator e a descrição dos seus componentes, a central de programação, o modo de operação do mesmo e utilização do software, métodos de ligar e desligar, método de carregamento e descarregamento, disposições gerais de limpeza. O manual possui uma linguagem simples e prática, pois será destinado basicamente a trabalhadores de campo de uma unidade da Petrobrás em outro estado, para onde o biorreator será encaminhado após a finalização dos testes no CETEM.

## 6. Conclusões

Conclui-se que o trabalho de aumento de escala do biorreator para a escala piloto foi plenamente satisfatório, pois na primeira fase (microcosmos) obteve-se um percentual médio mensal de remoção de 7% de HTP, passando-se para 16% na segunda fase e chegando-se a 26% de remoção de HTP na terceira fase. Além disso merece destaque à automação do processo através do sistema de controle que o software ELIPSE SCADA® proporciona. A elaboração do manual de operação do biorreator possibilitará a melhor utilização do equipamento em escala piloto e um bom entendimento do processo que será realizado pelos trabalhadores de campo que irão operar futuramente o biorreator na unidade da Petrobras.

## 7. Seção Agradecimentos

Agradeço ao CETEM, à EQ/UFRJ, a Petrobrás, ao CNPQ, aos orientadores Ronaldo dos Santos e Andréa Rizzo, aos técnicos Jorge Luiz da Cruz, Pedro Félix, à Renata da Matta, ao estagiário Felipe Duarte e a todos os colegas do CPMA..

## 8. Referências Bibliográficas

SPAIN, J. C. ET AL. **Biodegradation of Nitroaromatic Compounds**, Lewis Publishers, Washington DC, 2000.

PAUL, D.; PANDEY, G. PANDEY, J., JAIN, R. K., Accessing microbial diversity for bioremediation and environmental restoration. **TRENDS in Biotechnology**, v.23, p.135-142, 2005.

ALEF, K. & NANNIPIERI, P. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London, 565pg. 1995.

SILVA, F. B. D., Influência da Configuração do Sistema de Homogeneização no Desempenho de um Processo *Ex-Situ* de Biorremediação de Solos. Trabalho apresentado na XIV JIC realizada pelo Centro de Tecnologia Mineral(CETEM), 2006