

PROGRAMA DE BIOAUMENTAÇÃO (BIOAUGMENTATION), UMA TECNOLOGIA AVANÇADA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES LATICÍNIOS

Program of bioaugmentation, an advanced technology for treatment of effluents of dairy products

*** Jorge Antônio Barros de Macêdo**

A década de 90 vem sendo designada como a “década ambiental” ou a “década verde”. Os mais variados segmentos, tais como, universidades, órgãos de controle ambiental, ONG’s e principalmente as indústrias, dentre estas se situam as indústrias de derivados lácteos, em função da rígida legislação ambiental, tem dirigido seus esforços para obtenção de um ponto de equilíbrio entre a atividade produtiva e o respeito ao meio ambiente, o que se denomina desenvolvimento sustentável. Grande parte das pesquisas é direcionada para o tratamento de efluentes, principalmente os industriais, no sentido de mitigar os impactos ambientais gerados sobre os recursos hídricos, considerados como uma “commodity” desde 1992 por um editorial da revista inglesa "The Economist", ou seja, a água é uma mercadoria em função da sua disponibilidade atual . Esta visão é confirmada pela Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em seu Art. 1º cita que a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A biodespoluição é considerada um avanço da biotecnologia, que propiciou o surgimento das chamadas "tecnologias inovativas de tratamento", que são tecnologias de processo aplicadas ao tratamento de resíduos orgânicos, no estado sólido ou líquido, que terão suas propriedades físico-químicas alteradas, o que propicia sua adequação para lançamento aos corpos receptores, respeitando a legislação vigente e bem como a sua adequação as normas de qualidade ambiental (ISO 14000). A bioaumentação é definida como a suplementação de microrganismos externos de ocorrência natural, tais como bolores e leveduras e, principalmente bactérias na ETE (estação de tratamento de efluentes) na unidade de tratamento biológico. Os aditivos bioquímicos para a "bioaumentação" são produtos biotecnológicos compostos por *blends* de bactérias saprófitas de ocorrência natural, não patogênicas, além de enzimas e nutrientes necessários à uma ótima atividade degradativa desses microrganismos, que permitirá adequar um efluente às exigências legais para seu lançamento em um recurso hídrico ou até mesmo permitir o reuso do efluente tratado .O processo de bioaumentação é comprovadamente eficiente e com certeza melhora a qualidade do funcionamento das ETE's tradicionais. A aplicação do programa de bioaumentação necessita de monitoramento e deve-se utilizar o *blend* de empresas que além de vender um produto, sejam comprovadamente competentes sob aspecto técnico e que possam oferecer uma assessoria permanente a seus clientes, pois este programa requer parceiros para se alcançar uma alta taxa de degradação de efluentes.

* Professor Departamento Farmacêutico -
Faculdade de Farmácia e Bioquímica
Universidade Federal de Juiz de Fora
Diretor Científico da ORTOFARMA - Laboratórios de Controle de Qualidade
Email: jmacedo@fbio.ufjf.br

I- Introdução

A década de 90 vem sendo designada como a “década ambiental” ou a “década verde”. Os mais variados segmentos, tais como, universidades, órgãos de controle ambiental, ONG’s e principalmente as indústrias, dentre estas se situam as indústrias de derivados lácteos, em função da rígida legislação ambiental, tem dirigido seus esforços para obtenção de um ponto de equilíbrio entre a atividade produtiva e o respeito ao meio ambiente, o que se denomina desenvolvimento sustentável.

Grande parte das pesquisas é direcionada para o tratamento de efluentes, principalmente os industriais, no sentido de mitigar os impactos ambientais gerados sobre os recursos hídricos, considerados como uma “commodity” desde 1992 por um editorial da revista inglesa "The Economist", ou seja, a água é uma mercadoria em função da sua disponibilidade atual (ARNT, 1995).

Esta visão é confirmada pela Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em seu Art. 1º cita que a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997).

Em seu Art. 5º considera como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso de recursos hídricos. Ressaltando em seu Art. 12 que está sujeito a outorga pelo Poder Público o direito de lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final (BRASIL, 1997).

Na procura de processos para tratamento de efluentes industriais, se destaca as chamadas técnicas de "biodespoluição" por microrganismos que estão sendo cada vez mais utilizadas e gerando a cada dia um grande número de pesquisas (FRANÇA-FLASH MEIO AMBIENTE, 1996).

Com um produto em pó contendo sais minerais e bactérias liofilizadas em um suporte vegetal, a Companhia Lionesa de Transportes Coletivos (SLTC), efetuou à limpeza das "sanfonas" de seus ônibus articulados e deverá utilizar o mesmo método para limpar as escadas rolantes de Lyon. Com a escolha da França como sede da Copa Mundial de 1998, os franceses decidiram construir o grande estádio batizado de "Estádio da França", em um terreno industrial desativado da companhia "Gaz de France", cujo solo estava contaminado com hidrocarbonetos da antiga fábrica de gás, sendo utilizados microrganismos para retirada dos hidrocarbonetos do solo (FRANÇA-FLASH MEIO AMBIENTE, 1996).

A biodespoluição é considerada um avanço da biotecnologia, que propiciou o surgimento das chamadas "tecnologias inovativas de tratamento", que são tecnologias de processo aplicadas ao tratamento de resíduos orgânicos, no estado sólido ou líquido, que terão suas propriedades físico-químicas alteradas, o que propicia sua adequação para lançamento aos corpos receptores, respeitando a legislação vigente e bem como a sua adequação as normas de qualidade ambiental (ISO 14000).

II. Exemplos de processos que utilizam microrganismos em despoluição

O princípio da chamada biorrestauração pode ser considerado simples, pois bactérias e fungos que se desenvolvem no solo poluído transformam hidrocarbonetos em gás carbônico, água e sais minerais. Logo, a biorrestauração consiste em facilitar a degradação microbiana, reunindo todos os elementos indispensáveis para seu desenvolvimento, os nutrientes (nitrogênio, fósforo, etc) e oxigênio, uma das técnicas para fornecimento de oxigênio é a "bio-venting", que faz o ar circular no solo por meio de poços de injeção, que arejam a terra, pode-se também injetar no solo poluído uma solução aquosa contendo sais nutritivos..

Existem microrganismos que se mostram eficazes em solos, outros são mais indicados para tratar efluentes industriais contendo metais pesados ou nitratos.

Uma equipe do Departamento de Biologia Molecular Estrutural da Divisão de Ciências do Ser Vivo (CEA, Grenoble), após observar que as paredes de muito microrganismos podem adsorver naturalmente íons positivos em solução, como os íons de metais pesados, utilizou fungos filamentosos (*Rhizopus*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*), no tratamento de efluentes, sendo que, tais microrganismos são gerados pelas indústrias de antibióticos, vitaminas, enzimas e ácidos orgânicos à razão de vários milhares de toneladas por ano e geralmente acabam incinerados.

A pesquisa da utilização de microrganismos, resultou dentro do programa de pesquisa REWARD (Recycling of Waste R & D), da Comissão Européia um projeto envolvendo o CEA e a Companhia Bertin, a firma holandesa Gist Brocades, líder mundial na produção de penicilinas e que utiliza fungos filamentosos, que associaram-se à Union Minière belga, um dos principais produtores europeus de zinco. Da associação resultou um projeto, de outubro de 1993 a março de 1994, que utilizando um reator em PVC transparente, de leito fluidizado, construído pela Bertin, extraiu zinco do efluente da Union Minière. A pesquisa demonstrou que o processo é tecnicamente e economicamente competitivo quando comparados com outras tecnologias, reduzindo a níveis considerados seguros as concentrações de zinco no efluente industrial (FRANÇA-FLASH MEIO AMBIENTE, 1996).

No Brasil existem vários exemplos da utilização de microrganismos na degradação de resíduos, como exemplo, podemos ressaltar a "bioconversão de resíduos da indústria pesqueira. Os resíduos da industrialização do pescado representam um sério problema para a indústria, por serem poluentes e de difícil descarte, interferindo nos custos e na eficiência de produção (MORALES-ULLOA e OETTERER, 1995).

No preparo da denominada "silagem microbiana" como suplemento alimentar na elaboração de rações, MORALES-ULLOA e OETTERER (1995) utilizou o material resultante de evisceração de sardinhas (*Sardinella brasiliensis*), no qual se adicionou melaço, como fonte de carboidratos e o *Lactobacillus plantarum* e o *Pediococcus acidilactici* como inóculos. O processo de bioconversão resultou em um suplemento alimentar para rações, que além de trazer vantagens econômicas para indústria, resolve o grande problema de eliminação de resíduos.

A necessidade de proteger águas subterrâneas torna a fiscalização mais rigorosa e desenvolve no País o segmento de biorremediação de solos. Os hidrogeologistas e demais técnicos da área, não consideram esta tecnologia como apenas a adição de bactérias ao solo, ou a um rio para acabar com a poluição através da absorção ou transformação de contaminantes. Consideram, que a biorremediação na atualidade privilegia a bactéria local, dando a ela apenas melhores condições para se desenvolver e digerir poluentes. De acordo com Cyro Bernardes Jr., Diretor Técnico da Empresa Ambiterra, para tratamento de resíduos de hidrocarbonetos aromáticos e organoclorados o procedimento comum é adicionar nutrientes ao solo, principalmente fosfato e/ou nitrogênio, para favorecer a proliferação da microbiota característica do solo a ser biorremediado (QUÍMICA E DERIVADOS, 1997; QUÍMICA E DERIVADOS, 1998).

Esta preocupação na utilização de bactérias da microbiota característica do solo, do rio ou do efluente, vem de experiências mal sucedidas, como a que ocorreu no Lago do Parque do Ibirapuera, em São Paulo, cuja administração na tentativa de melhorar a qualidade da água, acolheu uma tecnologia de firma americana que utilizava determinada espécie de bactéria. Lançadas no lago, os microrganismos americanos não adaptadas ao ecossistema foram digeridas pelas bactérias brasileiras presentes no córrego do esgoto que ali é lançado (QUÍMICA E DERIVADOS, 1997; QUÍMICA E DERIVADOS, 1998).

Outro projeto importante, envolve a unidade industrial da Solvay, em Santo André (SP), onde a transnacional de origem belga produz cloro-soda, dicloroetano, o monômero MVC e os polímeros PVC e PEAD; no aterro cativo contaminado por organoclorados, provavelmente ainda este ano, bactérias locais serão incentivadas a degradar compostos organoclorados. No sítio contaminado, cuja remediação ocorre desde 1992, já existe um reator piloto simulando a biorremediação, com acerto de pH e dosagem de nutrientes (nitrogênio e fosfato) para incentivar a biodegradação provocada pelas bactérias facultativas (anaeróbicas e aeróbicas), identificadas anteriormente pelo Instituto de Bioquímica da USP (FURTADO, 1999).

O projeto piloto se torna necessário para definir a dosagem correta desses insumos para a aplicação *in situ*. Por exemplo, anteriormente o potássio também era acrescentado à mistura dos nutrientes, atualmente já se detectou que a presença de potássio não leva a uma maior biodegradação. Segundo o Gerente de Certificação de Produtos e Meio Ambiente da Solvay, as bactérias não consomem os organoclorados, elas digerem o carbono e, por processo metabólico, liberam enzima que quebra a ligação com o cloro. No final da degradação, da pluma contaminada com organoclorados resulta água com íons cloretos, o que elimina o risco final da contaminação (FURTADO, 1999).

Empresas nacionais já estão trazendo ao país a tecnologia considerada, a mais desenvolvida no momento nos Estados Unidos, que se denomina fitoremediação, cuja técnica utiliza, além dos microrganismos, plantas que facilitam a destruição e a remoção de contaminantes de águas subterrâneas e solos.

Um outro exemplo, importante do uso de microrganismos a nível mundial, é a retirada de nitratos de efluentes que contêm níveis que variam de 50 a 150 g/L, a saída encontrada foi o uso da bactéria *Pseudomonas halodenitrificans*, um

microrganismo que na falta de oxigênio respira nitratos e por oxirredução transforma-os em nitrogênio molecular, um elemento gasoso inerte. A *P. halodenitrificans* pode degradar ininterruptamente mais de 40 Kg diários de nitratos por metro cúbico de efluente. A cepa já se acha sob proteção industrial internacional junto ao Instituto Pasteur e o processo de tratamento foi patenteadado (FRANÇA-FLASH MEIO AMBIENTE, 1996).

III. Bioaugmentação

Uma condição importante para se entender o processo de bioaugmentação é se definir o que é biodegradável. Segundo, o American Heritage Dictionary, biodegradável é definido como "a capacidade de uma substância ser decomposta por um processo biológico natural". Outra definição, vem do livro de R. D. Swisher denominado "Biodegradação de Surfactantes", no qual o autor define a biodegradação como sendo a "destruição de compostos químicos pela ação biológica de organismos vivos" (MONES, 1996).

A bioaugmentação é definida como a suplementação de microrganismos externos de ocorrência natural, tais como bolores e leveduras e, principalmente bactérias na ETE (estação de tratamento de efluentes) na unidade de tratamento biológico.

Os aditivos bioquímicos para a "bioaugmentação" são produtos biotecnológicos compostos por *blends* de bactérias saprofíticas de ocorrência natural, não patogênicas, além de enzimas e nutrientes necessários à uma ótima atividade degradativa desses microrganismos, que permitirá adequar um efluente às exigências legais para seu lançamento em um recurso hídrico ou até mesmo permitir o reuso do efluente tratado (ROSA, 1995).

A estabilização de efluentes de características orgânicas, se baseia na ação por enzimas, que são metabolizadas pelos microrganismos, levando a formação de compostos inorgânicos como CO_2 , SO_4^{2-} , NO_3^{1-} e água, gerando também uma biomassa, que resulta do processo de crescimento bacteriano e a massa resultante após a estabilização da matéria orgânica.

É comum observarmos, nas ETE's a formação de depósitos de gorduras, exalação de odor desagradável, proveniente da digestão anaeróbia incompleta, elevada presença de sólidos não degradados, entre outros, todos estes fatores são decorrentes de uma baixa atividade microbiana. A adição de aditivos bioquímicos por *blends* de bactérias de ocorrência natural, se tornaram uma alternativa eficiente, desde que, se faça um pesquisa para determinação da dose apropriada, sempre considerando-se a necessidade de uma aplicação de "choque" quando do início do programa de bioaugmentação, para posterior diminuição gradativa para dosagens de manutenção (ROSA, 1995).

A determinação das dosagens apropriadas deve seguir um rigoroso estudo técnico da ETE, baseado nos valores do projeto e na carga orgânica por dia (vazão x DBO).

Em função da variedade de bactérias e enzimas associadas, que trabalham em simbiose, é necessário um certo período para obtenção dos resultados almejados, pois o programa de bioaugmentação procura atingir um estágio de

equilíbrio, entre a microbiota anteriormente presente na ETE e os novos microrganismos adicionados. A manutenção de uma dinâmica como esta, só é possível com a adição de microrganismos externos que passaram por um processo seletivo de adaptação, em laboratório e no campo, nas condições adversas do meio, levando a formação de um *pool* genético capaz de exercer a chamada "degradação de alta taxa" (ROSE, 1995).

Existem no mercado duas formas de produtos comerciais para o tratamento de efluentes, uma como suspensão líquida e outra sob a forma granular desidratada/liofilizada. Os produtos na forma de suspensão, em geral, apresentam menor durabilidade quando comparados com os produtos na forma granulada, este tempo varia de 6 meses a 2 anos, respectivamente.

Dois fatores são condições fundamentais para se alcançar os objetivos da degradação de alta taxa, o primeiro se refere a quantidade de UFC (unidades formadoras de colônia) presentes inicialmente no produto comercial, este valor dever ser no mínimo 10^9 UFC por g ou mL de produto. O segundo fator, é a ausência de microrganismos patogênicos, como *Salmonella*, *Shigella*, *Streptococcus*, etc, no produto comercial, ou seja, deve-se optar pela utilização de um *blend* que possua um controle sob o aspecto microbiológico. Os microrganismos presentes devem ser de ocorrência natural e não manuseados pela engenharia genética.

Segundo ROSA (1995) os principais resultados que se conseguem alcançar com um programa de bioaugmentação são:

- Eliminação do acúmulo, de camadas, de gordura
- Aumenta a remoção de DBO₅ e DQO.
- Maximiza o desempenho e performance de ETE's.
- Controla o crescimento de bactérias filamentosas.
- Controla a formação de espuma em tanques de aeração e digestores.
- Reduz a necessidade de aeração.
- Aumenta a digestão de sólidos.
- Aumenta a resistência a choques de carga tóxica e sobrecarga orgânica.
- Ocorre a biodegradação de compostos orgânicos recalcitrantes.
- Controla os níveis de nitrificação.
- Melhora significativamente a clarificação dos efluentes.
- Elimina os depósitos e assoreamento de lodo.
- Reduz e elimina a formação de odores.
- Reduz os custos de manutenção e operação de ETE's.
- Facilita e amplia a capacidade de bombeamento e de desaguamento.

IV. Conclusão

O processo de bioaugmentação é comprovadamente eficiente e com certeza melhora a qualidade do funcionamento das ETE's tradicionais. A aplicação do programa de bioaugmentação necessita de monitoramento e deve-se utilizar o *blend* de empresas que além de vender um produto, sejam comprovadamente competentes sob aspecto técnico e que possam oferecer uma assessoria

permanente a seus clientes, pois este programa requer parceiros para se alcançar uma alta taxa de degradação de efluentes.

V. Abstract

The 90's has been designated as the "environmental or the green decade". The most varied segments, such as, universities, bureaus of environmental control, NGO's and mainly the industries, among these the industries of flowed milky, in function of the rigid environmental legislation, it have been directing their efforts to obtain a balance point between the productive activity and the environmental respect, what is called "maintainable development". Great part of the researches are addressed for effluents treatment, mainly the industrial ones, in order to mitigate the environmental impacts generated on the hidric resources, considered as a "commodity" since 1992 for an editorial of the English magazine "The Economist", it means, the water is a merchandise in function of its current readiness. This vision is confirmed by the Law n. 9.433, of January 8, 1997, that Institutes Recourse Hydric National Politics and it creates the National System of Administration of Recourses Hidric. Its 1st Art. mentions that Recourses Hidric National Politics is bases on the following: the water is a domain good public; the water is a limited natural resource, endowed with economical value. The biodespollution is considered a progress of the biotechnology, that propitiates the appearance of the called "technologies treatment" innovatory, which are process technologies applied to the treatment of organic residues, in the state solid or liquid, which will modify their physic chemical properties, what propitiates its adaptation for releasing to the receiving bodies, respecting the effective legislation as well its adaptation the norms of environmental quality (ISO 14000). The bioaugmentation is defined as the supplement of external microorganisms of natural occurrence, such as mould and yeast's and, mainly bacteria's in EST (effluent station of treatment) in the unit of biological treatment. The biochemical addictive for the "bioaugmentation" are biotechnology products composed by blends of bacteria of nature occurrence, non pathogens, besides enzymes and nutritious necessary to great degradation activity of those microorganisms, which will allow the adaptation of an effluent to the legal demands for its release in a water resource or even allowing the reuse of the treated effluent .O bioaugmentation process is efficient certainly it improves the quality the of traditional EST operation. The application of the bioaugmentation program needs monitoring and the blend of companies should be used and besides it sells a product, it is competent under this technical aspect and that it can offer a permanent consultancy to its customers, because this program requests partners to reach a discharge rate of effluent degradation.

Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, V.55, n.315, Jul/Ago de 2000, p.47-52.
Apresentado na forma oral no XVII Congresso Nacional de Laticínios – 2000
Anais do Congresso corresponde a Edição da Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes

VI. BIBLIOGRAFIA

ARNT. R., Clara água, cara água. **Revista Super Interessante**, v.9, n.5, p.46-51, mai 1995.

BRASIL. Leis, decretos, etc.... Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, 09 jan. 1997, Secção 1.

MONES, E. Uma introdução a tópicos de biodegradação, **ESPUMA - Óleos & Gorduras - sabão, detergentes e cosméticos**, n.32, p.34-43, out/nov/dez 1996.

FRANÇA-FLASH, MEIO AMBIENTE, **Despoluição: os microrganismos ganham terreno**, n.9, p.6-7, out/nov/dez 1996.

FURTADO, M . R. Solvay multiplica bactérias para limpar solo, **QUÍMICA e DERIVADOS**, n.375, p.32-35, set. 1999.

MORALES-ULLOA, D. F., OETTERER, M. Bioconversão de resíduos da indústria pesqueira, **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.15, n.3, p.206-214, dez. 1995.

QUÍMICA E DERIVADOS, **Remediação de solos - Começa o combate à poluição profunda**, n.354, p.8-17, out. 1997.

QUÍMICA E DERIVADOS, **Ambiente - Maceió remedia solo contaminado**, n.362, p.26-32, jul. 1998.

ROSA, J. Programa de "bioaugmentação para aplicação em processos biológicos de tratamento de águas e resíduos orgânicos em geral, **Revista Nacional da Carne**, n.223, p.48-50, set. 1995.