

Medidas de impactos ambientais, atividade de tratamento de resíduos orgânicos, reciclagem de nutrientes e aproveitamento energético. Uma pesquisa de operação integrada⁽¹⁾

Samuel Murgel Branco⁽²⁾, Valdir Schalch⁽³⁾, Ricardo Silveira Bernardes⁽⁴⁾, Carlos Eduardo Matheus⁽⁵⁾, Eloisa Pozzi⁽⁶⁾, Ana Lúiza Ferreira Campos⁽⁷⁾ e Dorothy C. Pinatti Casarini⁽⁸⁾

APRESENTAÇÃO

Não se pode dissociar o problema de recursos hídricos do problema de uso do solo na bacia hidrográfica. A quantidade da água de uma represa é obviamente resultado da qualidade da água que lhe é transportada por via de escoamento superficial ou sub-superficial e esta última qualidade depende das características geoquímicas, do manejo, da erodibilidade, e das substâncias que são adicionadas ao solo na forma de resíduos da agricultura, cinzas de queimadas, esterco de criações, adubos, inseticidas, esgotos etc. Consequentemente, a preservação da qualidade da água de uma represa está obrigatoriamente condicionada ao estabelecimento de normas do uso do solo e medidas de retenção ou estabilização de resíduos.

Com relação a estes últimos torna-se cada vez mais evidente que o transporte contínuo, por escoamento superficial de materiais nutrientes orgânicos e inorgânicos, dos solos para as águas gerando o depauperamento progressivo dos primeiros e excessiva produtividade (poluição, eutrofização) nos últimos, deve ser compensado por uma reciclagem, isto é, pelo retorno desses nutrientes ao próprio solo, em lugar da solução alternativa que consiste no emprego de energia mecânica para a dissipação de energia molecular, como, paradoxalmente,

ocorre nos sistemas sofisticados de controle de poluição. Em último caso, se os resíduos forem totalmente inaproveitáveis, a dissipação de sua energia poderá ser feita com emprego de luz solar, barata e abundante em nosso país, em processos de lagoas de fotossíntese. Mesmo neste caso, deverão ainda ser procuradas alternativas de utilização da enorme biomassa formada nessas lagoas.

Partindo desses princípios básicos, vemos, como solução lógica para a proteção de represas, o estabelecimento de normas de uso do solo apoiadas em pesquisa dirigida para o desenvolvimento de métodos de reciclagem, com alto rendimento, e de aplicação ao alcance de pequenos proprietários rurais. Essa convicção levou-nos a formular um sistema compreendendo várias pesquisas aplicadas a serem desenvolvidas por pesquisadores e alunos de cursos de pós-graduação do CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, situado às margens da represa do Lobo (Itirapina, Brotas, São Carlos — Estado de São Paulo). Centro este pertencente à Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Tais pesquisas envolvem Lagoas de Estabilização, culturas hidropônicas, disposição no solo e métodos de bioensaios, utilizando peixes, planárias (vermes aquáticos) drosófilas e outros organismos como indicadores de impactos que possam ser causados por metais pesados e compostos orgânicos tóxicos empregados nas atividades agrícolas.

O reservatório do Ribeirão do Lobo (Represa do Broa), pertencente à CESP, ao lado da qual se situa o laboratório de Hidrobiologia do CRHEA, foi tomado como modelo ideal para a realização desse "pool de pesquisas". Localizada em área de utilização essencialmente agrícola e pecuária, a represa apresenta dimensões relativamente pequenas, além da facilidade criada para as pesquisas pela própria

localização do laboratório às suas margens.

Os trabalhos do CRHEA se iniciaram com alguns projetos, financiados pela OEA (Organização dos Estados Americanos), relacionados com proteção de mananciais. Entre os estudos desenvolvidos foram incluídas medidas de impactos ambientais causados por defensivos agrícolas transportados pela água das chuvas, e desenvolvimento de moluscos planorbídeos em lagoas de estabilização, sendo este último realizado com auxílio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e Ministério da Saúde.

Algumas medidas de impacto eram realizadas através de bioensaios com água de escoamento superficial proveniente de uma área reservada para cultivo de algodão, utilizando-se peixes como bioindicadores. Sistematicamente esta área era pulverizada com diversos tipos de agrotóxicos e as coletas de água sempre feitas após incidência de chuvas.

Para a pesquisa sobre caramujos planorbídeos foram construídos tanques de alvenaria, os quais foram utilizados como modelos de lagoas de estabilização. Atualmente estes reservatórios estão sendo usados como lagoas de estabilização com outro objetivo, ou seja, a de se pesquisar a influência de peixes no funcionamento das mesmas, bem como aproveitamento da biomassa desenvolvida.

Conclui-se, portanto, que o presente projeto objetiva unificar e direcionar os estudos anteriores, em andamento e futuras a um "pool" integrado de pesquisas.

Recursos Disponíveis

Para a realização dos Trabalhos Científicos o CRHEA conta com amplas instalações e pessoal técnico altamente especializado em trabalhos de Ecologia Aplicada, principalmente

(1) Projeto em desenvolvimento no CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, da Escola de Engenharia de São Carlos-USP.

(2) Coordenador do Projeto — Professor Titular

(3) Engenheiro Químico, Professor do CRHEA e Pós-Graduando em Hidráulica e Saneamento

(4) Engenheiro Civil — Pós-Graduando em Hidráulica e Saneamento

(5) Biólogo do CRHEA — Pós-Graduando em Ecologia e Recursos Naturais

(6) Ecóloga — Pós-Graduanda em Hidráulica e Saneamento

(7) Engenheira Civil — Pós-Graduanda em Hidráulica e Saneamento

(8) Bióloga — Pós-Graduanda em Hidráulica e Saneamento

no que se refere a tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos.

O citado centro de pesquisas possui modernos laboratórios de análises físico-químicas da água, laboratórios de limnologia, com todo o equipamento necessário à coleta de amostras de água (em lagoa de estabilização por ex.), laboratório de bacteriologia, laboratório de microscopia, com equipamento necessário à microscopia por transparência, estereoscópica e invertida (para contagem e identificação de plâncton), além de fotomicrografia.

Existe também na área do CRHEA uma sofisticada estação de meteorologia que registra diariamente informações referentes ao clima local. Esta estação será de extrema importância para os trabalhos citados, já que alguns fatores climatológicos tais como radiação solar, fotoperíodo, temperatura, entre outros, são de importância capital com relação ao comportamento biológico das espécies, especificamente daquelas que estão envolvidas nos processos de tratamento como peixes por exemplo. A este respeito já são bem conhecidas, pelo menos em linhas gerais, as influências de certos fatores climáticos sobre os microrganismos que vivem nos sistemas de tratamento (bactérias, protozoários, algas etc.) cujas mudanças no comportamento biológico interferem na eficiência dos processos em questão.

Desta forma, fica evidenciado que as instalações do CRHEA podem perfeitamente absorver os trabalhos experimentais sugeridos, lembrando-se que existe ainda uma extensa área não preenchida aproximadamente de 60 hectares a qual se constitui sem dúvida em um rico potencial para serem desenvolvidos trabalhos relacionados com nossa linha de pesquisa.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, os efeitos negativos decorrentes do aumento da população já são bem visíveis e sentidos diariamente em vários segmentos de nossa sociedade e em todas as regiões do planeta.

Entre os efeitos perniciosos, destaca-se a demanda crescente de alimentos, cuja produção infelizmente não acompanha o ritmo de nascimento de nossos seres humanos. Este aspecto está claro e mais do que evidenciado através de nossos constantes noticiários que não se cansam de mostrar a espantosa marcha da fome que assola cada vez mais a humanidade.

Também devem ser consideradas como grave consequência da explosão populacional todas as formas de degradação e poluição ambiental decorrentes da atividade da grande massa de seres humanos ávidos para consumir.

Aliado ao problema de escassez de alimentos, a poluição ambiental, especificamente a produzida pelos restos do metabolismo das sociedades, na forma de resíduos orgânicos, agrava muito o quadro geral das nossas preocupações.

Por outro lado, entretanto, deve ser ressaltado que o lixo urbano, o esgoto doméstico, certos resíduos industriais e agrícolas são fontes riquíssimas de matéria orgânica, nutrientes e mesmo energia, de forma que, se estes resíduos forem processados de uma maneira racional, podem em muito contribuir para nova produção de alimentos e melhoria da qualidade ambiental na forma de recuperação de solos e na preservação de recursos hídricos, entre outras atividades.

Por conseguinte, utilizando sistemas de tratamento adequados podemos recuperar em grande parte a matéria-prima e a energia desperdiçadas nestes resíduos e também contribuir para minimizar os impactos negativos que estes resíduos promovem no ambiente, principalmente no meio aquático, cujas formas vivas são muito sensíveis a qualquer alteração das suas características físico-químicas.

Portanto, toda ou qualquer tentativa com o propósito de adquirir novos conhecimentos através de pesquisas nesta área se reveste de extrema importância, principalmente em face dos difíceis momentos de crise social e econômica por que estamos passando.

O sistema sugerido

A idéia exposta no presente relatório surgiu no sentido de integrar algumas das muitas formas de tratamento biológico em um sistema único e mais amplo com elasticidade de conexões entre suas partes, isto é, a elaboração de um sistema onde houvesse muitas maneiras alternativas de tratamento dos vários tipos de resíduos orgânicos e o aproveitamento dos produtos da estabilização desses resíduos para produzir vegetais economicamente úteis, proteína animal na forma de peixes, suínos e outros animais domésticos, e energia, cuja finalidade seria sua canalização para o funcionamento de algumas partes do próprio sistema.

Assim, todos os componentes estariam interligados e funcionariam de acordo com as necessidades da época ou de cada momento, ou seja, alternadamente, concomitantemente, em série, em paralelo e assim por diante.

Exemplificando, pode-se muito bem ilustrar o sentido deste trabalho.

O resíduo bruto proveniente de uma pocalha é introduzido em um decantador primário. Este material após um certo período de sedimentação é dividido em duas parcelas:

O sobrenadante que pode ser transferido para uma lagoa de estabilização ou outro processo de tratamento qualquer e o material grosso que

sedimenta, o qual pode ser tratado anaerobicamente em um digestor.

O efluente da lagoa de estabilização pode ser aproveitado de diversas maneiras como disposição no solo (irrigação), em culturas hidropônicas (taioba, inhame etc.) ou mesmo em lagoas secundárias e terciárias de maturação para remoção de nutrientes utilizando-se peixes, macrófitas aquáticas etc.



Hidropônicas — Inhame e taioba

Dessa forma, os excrementos humanos, de suínos ou outro animal doméstico, sofrendo o tratamento biológico adequado são transformados em biomassa viva (algas, crustáceos, peixes, macrófitas aquáticas, taioba e outros organismos economicamente úteis) a qual pode retornar na forma de alimento aos próprios organismos envolvidos, fechando dessa forma o ciclo.

A porção do resíduo estabilizado no digestor anaeróbico pode ser viabilizada entre outras coisas, no sentido da produção de gás, cuja utilidade seria suprir o sistema com mais uma fonte de energia alternativa.

Também pode-se pensar na utilização das macrófitas aquáticas que se desenvolveriam nas lagoas de maturação como mais uma alternativa de suprimento de matéria-prima para os digestores.

Essas considerações são apenas algumas entre as inúmeras possibilidades que um sistema desse tipo, ao ser implantado, pode proporcionar.

Não podemos deixar de enfatizar também que o esquema sugerido funciona como um sistema ecológico completo no qual existe uma série de elos em uma cadeia alimentar, desde os produtores (algas e vegetais superiores) até os consumidores de 3.^a e 4.^a ordem como no caso do próprio homem, quando este se beneficia dos produtos oriundos dos processos da estabilização da matéria orgânica.

A idéia nos parece viável pois no Centro de Pesquisas (CRHEA) já existe infra-estrutura completa, havendo inclusive disponibilidade de extensas áreas, requisito indispensável em trabalho deste tipo.

O tema proposto é bastante atual e muito difundido mas o que parece inédito, principalmente em termos de Brasil, é a integração de vários sistemas simples e baratos de tratamento, em um todo organizado e harmônico, como já foi mencionado, sendo este o aspecto pretensioso deste projeto, que poderá sem dúvida, fornecer bases e subsídios científicos concretos na forma de um modelo de aplicação para novos pesquisadores que queiram se aventurar neste vasto e importantíssimo campo de trabalho.

2. DESCRIÇÃO DAS PARTES DO SISTEMA

2.1. Lagoas de Estabilização

As chamadas lagoas de estabilização são formas de tratamento biológico de resíduos orgânicos que mais se aproximam dos processos naturais de depuração, além de se constituírem também nos mais econômicos. Sua fácil construção, ausência total de mecanização e mínimo de manutenção, tornam-na a solução ideal e muito aplicável às condições climáticas e sócio-econômicas do interior de São Paulo e do país de um modo geral.

O processo de estabilização baseia-se na decomposição aeróbica, em que o oxigênio é fornecido por fotossíntese e não por qualquer fonte externa. Há, portanto, um equilíbrio biológico perfeito entre microrganismos aeróbios que se alimentam da matéria orgânica, consumindo oxigênio do meio e liberando gás carbônico e sais minerais, e algas microscópicas que, utilizando esse gás carbônico e os sais minerais, realizam fotossíntese, desprendendo o oxigênio indispensável à respiração dos primeiros.

O resultado final desta interação entre microrganismos é um efluente de melhor qualidade do ponto de vista ecológico e sanitário, pois além da degradação dos resíduos orgânicos que eventualmente poderiam promover a poluição das águas superficiais, evita-se também a disseminação de doenças transmissíveis, causadas pelos organismos patogênicos existentes nas águas residuárias.

Aspectos justificativos do trabalho em andamento

Atualmente, devido ao crescente aumento demográfico, ocasionando cada vez maior carência protética na população, torna-se necessário buscar alternativas com o propósito de aumentar a produção de alimentos.

Várias pesquisas têm sido conduzidas em diversas partes do mundo no sentido de utilizar economicamente a massa de algas que se desenvolve em

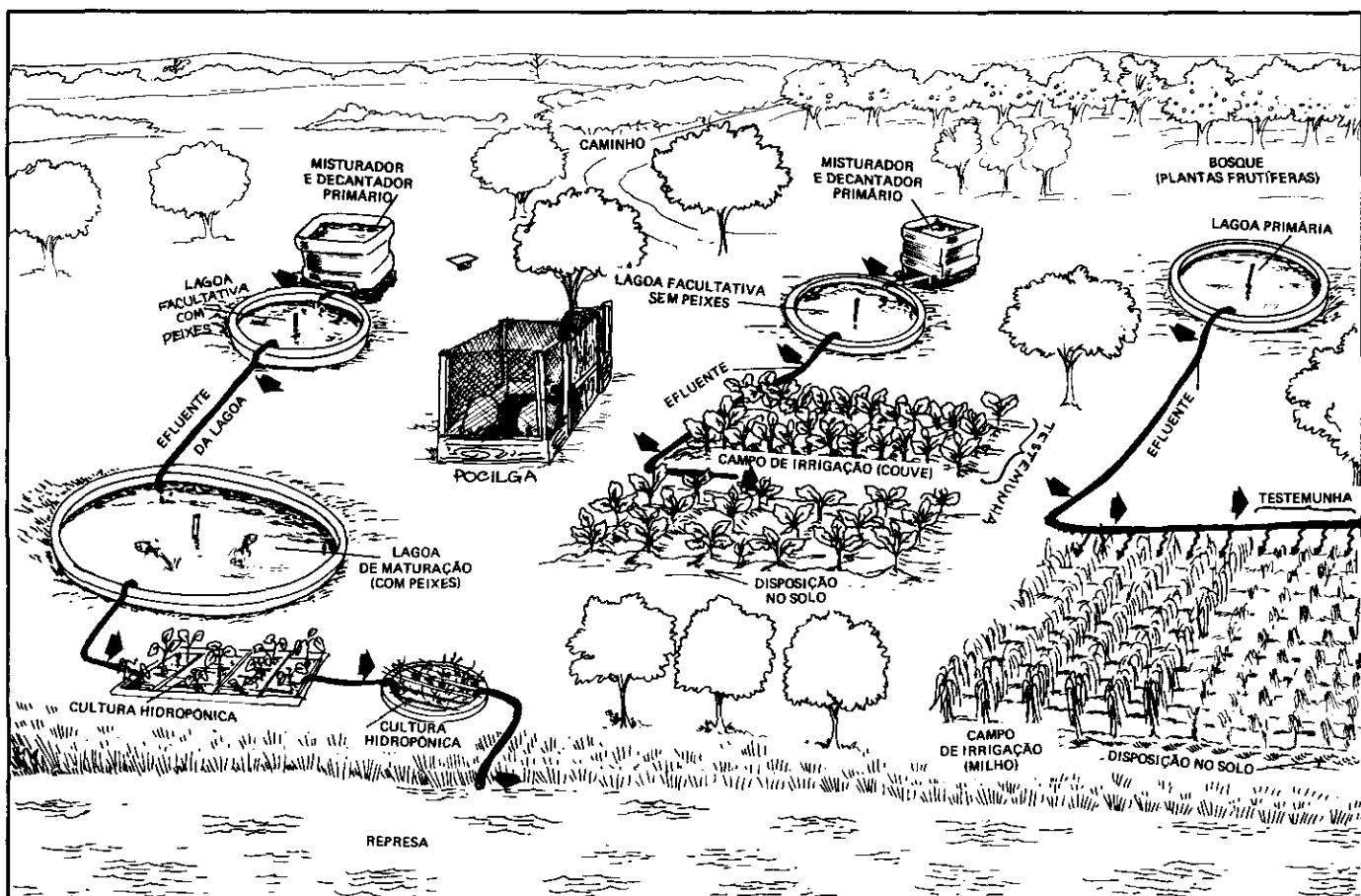
lagoas de estabilização. As algas que se desenvolvem a partir da estabilização da matéria orgânica nestas lagoas constituem importante fonte de alimento protéico, chegando a ser maior que 50 por cento (em peso seco) a proporção de proteínas existentes nesses organismos.

Mas, ao que parece, no presente estágio da tecnologia, é bastante complicada e provavelmente antieconômica a coleta de algas desses ambientes eutróficos para a produção de alimentos.

Utilização de peixes

O cultivo de peixes planctofágos seria uma maneira de exploração das proteínas produzidas pelas algas e, portanto, lagoas de estabilização funcionariam como sistemas armazenadores de energia, transformando a energia difusa da luz solar em energia molecular utilizável pelo homem.

Nas lagoas de estabilização em geral torna-se muito difícil a criação de peixes por causa da variação de concentração de oxigênio dissolvido que se verifica entre o dia e a noite (sobretudo em noites quentes que sucedem a um dia de baixo índice de radiações solares). Isto porque do ponto de vista sanitário, sendo suficiente que a lagoa se mantenha permanentemente aerobia (ainda que chegue a apresentar apenas 1 mg/l de oxigênio dissolvido ou menos durante a noite) ela é dimensionada seguindo esse critério e não visando à ma-



nutenção de um teor de O₂ compatível com a vida dos peixes. Por isso a necessidade de se acrescentar uma "lagoa de maturação" onde a demanda de oxigênio produzida pelo esgoto já sendo baixa, será mais fácil a manutenção permanente de altos valores de oxigênio dissolvido.

Um aspecto muito importante da utilização de peixes em lagoas de estabilização é a influência que estes organismos eventualmente podem produzir no que tange à melhoria da qualidade do efluente.

O emprego de peixes para fins de depuração de águas naturais ou artificiais é praticamente inexistente. A literatura científica faz apenas referência a um melhor aproveitamento dos níveis tróficos de lagos e viveiros de cultivo de peixes, utilizando espécies de hábitos alimentares diferentes (Silva e Augusto, 1976).



Tilápias desenvolvidas nas lagoas de maturação

Bard (1976), em seu relatório, "algumas sugestões para a piscicultura brasileira", editada pelo Ministério de Assuntos Estrangeiros da França, sugere em sua terceira parte, a criação de peixes em lagoas de Estabilização no Distrito Federal, sugestão também feita pelos pesquisadores Silva e Augusto (1976), em seu relatório referente à programação de ensaios sobre o uso da *Tilapia nilotica* (Linnaeus), para a redução do fitoplâncton no Lago Paranoá — Brasília — DF.

Para o presente trabalho foi escolhido este peixe devido à sua elevada rusticidade e precocidade e habilidade para converter, eficientemente matéria orgânica e restos de produtos agrícolas em proteína de alta qualidade.

O estudo ora em andamento está sendo desenvolvido com modelos de Lagoas de Estabilização que no caso são tanques circulares de alvenaria. Existem 3 desses tanques sendo que 2 são perfeitamente iguais, com 3 metros de diâmetro por 1 metro de profundidade e ambos estão funcionando como lagoas facultativas.

Estes tanques recebem diariamente 200 litros de resíduo (estrume de suínos diluído) com uma carga orgânica similar a de um esgoto doméstico, ou seja, com aproximadamente 200 mg/l DBO. Este material é proveniente de decantadores primários os quais foram construídos com caixas de cimento-amianto de 1.000 litros.

O tempo de detenção nas 2 lagoas é, portanto, de aproximadamente 25 dias sendo que a única diferença é que uma delas possui peixes (Tilápia do Nilo) e a outra não. Este procedimento visa à obtenção de informações sobre a influência desses organismos sobre o comportamento da lagoa, ou seja, sobre a eficiência desse processo de tratamento refletida pelas diferenças nas condições dos efluentes.

O 3º tanque citado acima totaliza 5 metros de diâmetro e com a mesma profundidade dos outros (1 metro) sendo que este está conectado em série com um dos primeiros. Dessa forma funciona como uma lagoa de maturação recebendo um efluente já clarificado.

Nesse reservatório estão sendo mantidas as condições ambientais em lagoas aeróbias nas quais não deve faltar oxigênio dissolvido nas 24 horas em toda a coluna d'água, além de uma elevada concentração de células do fitoplâncton. Também neste tanque estão estocados exemplares da Tilápia do Nilo.

O trabalho em questão tem, portanto, por objetivo verificar:

- 1 — A influência dos peixes sobre o processo de tratamento e qualidade da água.
- 2 — O comportamento da espécie cultivada quanto ao crescimento, reprodução e nutrição.
- 3 — O aproveitamento dos peixes para o consumo humano e outros fins.
- 4 — A curva de biomassa, bem como o índice de rendimento.
- 5 — Cargas de DBO (ou DOO) que podem ser suportadas pelos peixes nas lagoas de estabilização.

2.2. Cultura Hidropônica

Um dos problemas sérios causados pela disposição de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos em corpos d'água, mesmo daqueles sistemas ditos terciários, é a eutrofização dessas massas d'água ocasionada pelos nutrientes minerais presentes em grande quantidade. Essa eutrofização tem acarretado inconvenientes os mais diversos, no que diz respeito ao aproveitamento de recursos hídricos, desde a geração de energia hidrelétrica até ao abastecimento de água potável.

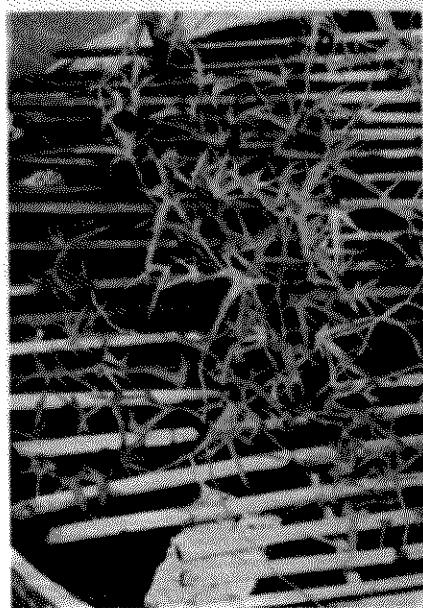
Em vista disso, tem-se procurado promover uma retirada eficiente dos nutrientes, tanto dos efluentes dos esgotos tratados, como dos próprios corpos d'água já eutrofizados.

Sendo o tratamento terciário convencional um processo muito dispensioso, uma alternativa para essa remoção, é a instalação de culturas hidropônicas de plantas superiores.

Essa cultura é feita de forma que as raízes ficam submersas, podendo absorver os nutrientes, mantendo no entanto, sua parte aérea acima do nível da água.

Outra vantagem dessa técnica é a possibilidade de nova opção de produção de alimentos que podem ser aproveitados tanto por animais domésticos como pelo próprio homem. O sistema é, portanto, simples e barato e consequentemente mais compatível com as características sócio-econômicas de países em desenvolvimento como o nosso.

Por conseguinte, aproveitando o efluente da lagoa de maturação em funcionamento, foram instalados dois tanques com a finalidade de cultivar vegetais na forma de cultura hidropônica.



Hidropônicas — batata-doce

Para a fixação das plantas, foram utilizadas treliças flutuantes de bambu, sendo que os vegetais são amarrados ou dispostos sobre as mesmas, em função das características de suas partes aéreas.

Até o momento foram colocadas mudas de batata-doce, inhame e taloia, as quais já apresentam crescimento significativo de caules e folhas.

2.3. Disposição de Esgotos no Solo Aspectos Justificativos do Trabalho

Os esgotos provenientes da atividade humana, foram a princípio dispostos por soluções individuais, sem uma preocupação mais efetiva com sua depuração, dando-se a mesma no solo ou na água por processos naturais.

A forma mais antiga de disposição e depuração controlada dos esgotos, e a que teve aplicação por largo período, foi a disposição no solo. Com o crescimento das cidades e consequentemente valorização das áreas próximas ao sítio urbano, esse processo passou a ser preferido frente a outros, que embora não efetuassem uma depuração tão completa como o primeiro, necessitavam de área bem menor para sua implantação. Esse fato, associado a um certo fascínio por so-

luções sofisticadas, tecnologicamente falando, fizeram com que a disposição no solo fosse quase que inteiramente abandonada como solução para tratamento de esgotos.

Com o aumento da utilização das soluções compactas, ditas secundárias, começou-se a evidenciar que esses processos ainda eram potencialmente poluentes, pois seus efluentes possuem ainda elementos, tais como os nutrientes por exemplo, que podem causar problemas para os corpos d'água. A preocupação em resolver esse problema levou os pesquisadores a constatarem que os custos dos processos para tratamento dessa parcela restante dos esgotos, dita tratamento terciário, tinha um crescimento exponencial, tanto mais completa era a depuração final.

Isto fez com que os estudos de processos naturais, para depuração de esgotos, ganhassem novo impulso, sendo que hoje essas alternativas já passam a ser encaradas como aplicáveis às nossas comunidades.

A seguir iremos discutir alguns dos aspectos que justificam o estudo de depuração de esgotos domésticos através de disposição no solo.

Equilíbrio Ecológico

De certa forma, uma boa porcentagem da produção agrícola, destina-se à alimentação da população humana, que em sua grande maioria, concentra-se na área urbana das cidades. Uma parte dos resíduos resultantes da utilização desses alimentos pelo homem são as excretas, que são os componentes principais da matéria orgânica biodegradável contida nos esgotos domésticos.

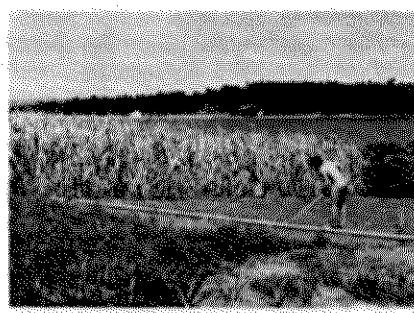
A disposição dos esgotos nos corpos d'água acarreta dois problemas básicos sob o ponto de vista da reciclagem dessa matéria orgânica:

a) Necessidade de "adubação" das terras destinadas à agricultura, visto que a maior parte da matéria orgânica ali produzida é levada para fora, não retornando para a terra, após sua decomposição, na forma de minerais necessários ao processo de fotosíntese;

b) Poluição dos corpos d'água, isto sem contar com os aspectos negativos dessa disposição sob o ponto de vista sanitário, diante do fato de que em sua grande maioria esses corpos d'água são utilizados para captação de água para abastecimento público.

Aspectos Econômicos

Em países tanto econômico, como socialmente carentes, deve-se pensar em alternativas de tratamento e disposição final de esgotos que não só tenham viabilidade técnica, como signifiquem um melhor aproveitamento possível do pessoal local, e tenham baixo custo de implantação e manutenção.



Sistema de irrigação

Além disso, sob a ótica de que o progresso tecnológico das soluções para tratamento de águas residuárias tem sido bastante grande, qualquer alternativa proposta deve trazer em si a ideia de que esses tratamentos devem ser encarados como sistemas, o que permite que haja modificações no mesmo a medida em que novas soluções forem encontradas. A disposição no solo tem essa característica, permitindo uma relativa maleabilidade na implantação e uma grande maleabilidade na operação e ampliação.

No tocante ao aproveitamento do pessoal local, a disposição de esgotos no solo está intimamente ligada a práticas agrícolas e de irrigação, sendo que essas atividades estão bastante arraigadas em nosso meio social. Isto permite uma maior facilidade para implantação e operação do sistema, inclusive em áreas bastante distantes dos centros tecnológicos mais adiantados.



Irrigação — Canteiro de couves — As plantas à direita recebem efluente das lagoas. As da esquerda são irrigadas somente com água.

Sob o ponto de vista de custos, o sistema necessita de maiores áreas para implantação, o que todavia não necessariamente é limitante, em vista da possibilidade de se aproveitar áreas com menores condições de urbanização, bem como de que essas áreas teriam também uma finalidade produtiva; visto que a disposição no solo pressupõe a possibilidade de que haja uma cultura agrícola economicamente viável na terra utilizada.

Sistemas de Disposição no Solo Projetados

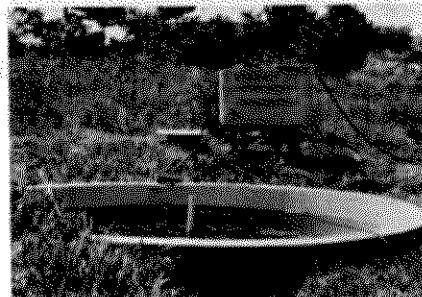
Atualmente existem em operação no CRHEA, dois sistemas de tratamento de águas residuárias, consistindo o primeiro em decantador primário e lagoa de estabilização facultativa; o segundo

tem como componente um decantador primário, uma lagoa de estabilização facultativa e uma lagoa de maturação.

Como o efluente de ambos não estão sendo utilizados, parte do trabalho será desenvolvido com a disposição dos mesmos no solo, o que permitirá observar o funcionamento da disposição como tratamento de efluentes tanto de sistema dito secundário como terciário.

Além disso, para se permitir analisar a disposição de efluentes de tratamento primário, foi previsto a construção de um decantador cujo efluente será disposto no solo.

Para cada um dos três efluentes, a pesquisa deverá realizar estudos físicos, químicos, bioquímicos e biológicos.



Caixa misturadora de resíduo líquido

Os estudos físicos consistirão no acompanhamento da capacidade de infiltração daquele solo específico, associada a cargas aplicadas, vazão de efluentes e precipitação pluviométrica.

Para acompanhar a variação da composição química do solo, serão feitas análises periódicas da composição do solo do campo de irrigação.

Os estudos bioquímicos serão desenvolvidos como forma de acompanhamento da eficiência dessa alternativa como tratamento de águas residuárias, sendo que serão realizadas análises tanto do afluente como do efluente para determinação de teores de nitrogênio, fósforo, sólidos, bem como DBO, DOO e pH.

Os estudos biológicos serão feitos através do acompanhamento da redução do número de coliformes fecais presentes no afluente aos campos de irrigação, servindo isto para análise da eficiência do sistema na redução de organismos patogênicos.

Na posse desses dados, a pesquisa pretende atingir dois objetivos, quais sejam, chegar a parâmetros para projeto de sistemas desse tipo e conhecer um pouco mais o funcionamento desse tipo de tratamento, no tocante à interação microrganismo-resíduo-solo.

O Resíduo

A primeira preocupação no desenvolvimento do trabalho experimental foi o tipo de resíduo a ser adotado para que tivéssemos características médias fixas do afluente ao tratamento. Como o trabalho pretende analisar forma de tratamento para esgoto do-

méstico, a água residuária affluentaria deveria ou ser proveniente de atividade humana doméstica ou ter características bastante próximas. Apesar de existir moradias e refeitório na área do CRHEA, as soluções para disposição final são individuais, não existindo a possibilidade de coletarmos esse esgoto de todas as unidades e o encaminharmos a um ponto único. Isto nos fez pensar na utilização de outro esgoto semelhante.

A idéia de se utilizar excretas de animal foi a que pareceu mais viável, pois o CRHEA possui área suficiente para que fosse feita a criação do animal escolhido e assim tivéssemos a excreta com relativa facilidade.



Pecuária

No tocante à escolha do resíduo optamos pelas fezes de porco, em vista das mesmas terem características semelhantes às do homem.

Foram implantados dois sistemas de disposição, quais sejam, para o efluente do decantador primário e para o efluente da lagoa facultativa.

Para ambos os casos, a forma de disposição adotada foi o método de superfície onde a água é distribuída pelo solo através de escoamento superficial, infiltrando-se durante o percurso. Para tanto foram previstos sulcos para ambos os campos de irrigação, ao longo dos quais foram plantadas culturas de milho e couve, para o sistema de disposição do primário e secundário respectivamente.

A participação da planta superior nesse tipo de tratamento de resíduos é bastante importante, visto que além de promover a retirada dos nutrientes mineralizados pelos microrganismos, as raízes permitem uma melhor estruturação do solo, impedindo a ação de erosão tanto devido à água de irrigação como à precipitação pluviométrica. Além disso, as raízes segregam as substâncias que fornecem alimentação e energia aos microorganismos, bem como o contínuo desprendimento de células mortas dessas raízes fornece matéria orgânica biodegradável, o que nos indica que a plantação deve preceder à disposição, como forma de incrementar o aparecimento dos microorganismos na região da disposição e tratamento.

A taxa de aplicação adotada foi de 35 mm/semana, taxa essa algo conservadora, se pensarmos que para esse tipo de tratamento a faixa de aplicação é de 10 a 100 mm/semana. Todavia,

uma taxa de aplicação menor permite uma maior maleabilidade de operação, principalmente no tocante a turnos de rega, indispensáveis para permitir uma aeração do solo.

Para a disposição do efluente do sistema primário, foram previstos dois campos com 10 metros de largura por 20 metros de comprimento. Para essa área de 200 m² e a taxa de aplicação de 35 mm/semana, temos uma vazão a ser irrigada de 7 m³/semana. Para disposição feita em dias alternados, temos uma vazão diária de 2 m³.

O efluente do sistema secundário tem uma vazão diária de 200 litros, sendo que para a taxa de aplicação e turno de rega adotados anteriormente, temos necessidade de um campo de irrigação com área de 20 m². Neste caso também foram previstos dois campos de disposição, com 3 metros de largura por 6,7 metros de comprimento.

O fato de termos dois campos para cada sistema visa permitir que tenhamos um testemunho para comparação do comportamento tanto do solo como das plantas com a disposição.

2.4. Aterros Energéticos com Aproveitamento de Gás e Fertilizante

Dentre as medidas eficazes que podem ser tomadas para resolver o problema crescente do acúmulo de resíduos sólidos, tanto no meio urbano quanto no rural, está a da utilização de aterros energéticos, aterros estes, que são projetados para que possam produzir gás e fertilizante.

Acúmulo de lixo é o resultado de um fluxo contínuo de materiais biodegradáveis produzidos nas áreas rurais e utilizados nas cidades como alimento, matérias-primas etc. Esse fluxo produz, de um lado, o escoamento dos solos, causado pelo consumo de seus nutrientes, na produção de matéria vegetal e animal e, de outro lado, o problema de disposição nas cidades, levando à poluição do solo e das águas. A solução ideal, do ponto de vista ecológico, seria a reciclagem desse material, isto é, a volta das matérias biodegradáveis ao solo de origem, evitando a necessidade crescente do emprego de fertilizantes sintéticos e, ao mesmo tempo, a poluição dos ambientes municipais. Essa reciclagem pode ser obtida mediante um tratamento adequado dos resíduos de modo a transformá-los em composto, o qual seria utilizado como fertilizante nas áreas rurais; e também pode ser obtida pelo mesmo processo mas com outra finalidade. Isto é, a de obtenção de gás através do reaproveitamento do Chorume, no aterro energético.

Em nosso Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada-CRHEA, já estão sendo desenvolvidas experiências de laboratório com lixo proveniente da cidade de São Carlos para verificar e comprovar a eficiência dos aterros energéticos, que poderão vir a ser utilizados com vantagens, no campo

das alternativas energéticas, para solucionar esse importante problema.

Para os setores rurais, o uso desse tipo de aterro se torna ainda mais desejável, já que pode produzir adubo para a fertilização de solos, e energia para alimentar outros tipos de atividades e, nesse instante, é que sua utilização como parte integrante de um ciclo de pesquisas faz com que se transforme num meio econômico e eficaz de produção de gás e adubo.

3. ATIVIDADES COMPLEMENTARES

3.1. Bioensaios

Para que o tratamento biológico de uma água residuária seja eficiente, os organismos responsáveis pela oxidação da matéria orgânica, deverão viver em equilíbrio com as características físicas e químicas do ambiente. Além disso, a água residuária tratada ao ser lançada num corpo d'água receptor, poderá também alterar suas características físico-químicas e biológicas.

Mediante tais princípios, é ressaltada a importância de serem realizados bioensaios como atividade complementar do sistema integrado, onde os organismos (bioindicadores) são utilizados para a detecção da qualidade da água residuária que será submetida ao tratamento, como por exemplo a possibilidade de criação de peixe no sistema de lagoas de estabilização que receberá um determinado resíduo. Neste aspecto, inclusive o sistema é aberto para absorver variados tipos de resíduos orgânicos de modo que os bioensaios poderiam determinar o grau de toxicidade destes materiais, cujos efeitos geralmente são desconhecidos nos seres vivos. Também seriam úteis na avaliação da possibilidade de lançamento de efluente tratado sem provocar danos no corpo d'água receptor, pois somente as análises químicas das águas residuárias não fornecem informações suficientes dos seus efeitos na biota aquática, para a proteção do ambiente. A toxicidade dos efluentes pode ser influenciada pelas interações entre os seus componentes individuais e pelos minerais que ocorrem naturalmente dissolvidos em quantidades variáveis nas águas receptoras.

Atualmente está sendo montado nos laboratórios do CRHEA os equipamentos necessários para a condução de testes de bioensaios com o objetivo de estudar a influência de metais pesados em peixes, no caso do zinco. Estes indivíduos já estão sendo criados em condições de laboratório e a metodologia para a realização dos testes está sendo revista. Após a instalação dos equipamentos e o domínio da técnica, os bioensaios poderão ser muito úteis como já foi mencionado, para o conhecimento da qualidade de um determinado resíduo a ser tratado e do efluente do sistema de tratamento quando este for direcionado para um corpo d'água receptor.

3.2 Estudo de Vegetação em Reservatórios

Na construção de um reservatório de acumulação, nos deparamos com um impasse: Qual o tratamento a ser dado à vegetação existente na área da bacia a ser inundada?

Por um lado, problemas ligados à desoxigenação, eutrofização, assoreamento, corrosividade, sabor e odor da água e navegabilidade da represa nos obrigarão a um estudo rigoroso, visando à minimização dessas consequências, por outro lado, razões de ordem econômica e prática geralmente prevalecem sobre as anteriormente citadas, gerando divergências de opiniões e total negligência ou despreocupação com o problema.

A primeira vista, poderíamos ser levados a considerar essas consequências como de maior ou menor gravidade, dependendo do uso específico previsto para as águas da represa. Mas não é prudente desconsiderar a possibilidade de uma represa construída com um fim específico como, por exemplo, de geração de energia elétrica, vir a ser utilizada como manancial de água potável, decorrente do aumento de demanda na região próxima ao represamento.



Caixa misturadora do resíduo líquido e algumas das lagoas de estabilização

Deve-se ter em mente as vantagens econômicas e social do uso múltiplo de represa. A represa deverá servir não só como fonte de energia, mas também de alimento (na forma de peixes, irrigação etc.) de transporte (navegação) de água potável etc. Mas para se lançar mão de todo esse potencial é necessário que algumas providências sejam adotadas, quando da construção do reservatório de acumulação.

É interessante ainda ressaltar que a deterioração da qualidade da água, devido à presença de massas vegetais em decomposição, não afeta somente à potabilidade ou à ictiologia, mas afeta também o funcionamento da usina geradora de energia.

Além disso, a presença de plantas aquáticas superiores pode provocar assoreamento da represa além de exercerem o papel de focos de produção de larvas de mosquitos de hábitos aquáticos, inclusive espécies transmissoras de enfermidades, como malária e outras.

Pelas razões acima apresentadas, nota-se a necessidade de estudo criterioso acerca das consequências decorrentes da permanência de massas vegetais em áreas a serem inundadas por represas.

O objetivo desse trabalho é justamente se obter um amplo conhecimento dos fatores intervenientes na decomposição de matéria vegetal em um reservatório, especialmente a composição dessa vegetação e a consequência da decomposição no consumo de oxigênio dissolvido no meio. O trabalho será realizado em duas etapas que são:

1.ª etapa: ensaio em garrafões contendo matéria vegetal de diferentes composições, instalados no laboratório do CRHEA-Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, à temperatura constante. Nessa fase do trabalho, serão feitas medidas periódicas do Oxigênio Dissolvido no meio. Serão utilizados os materiais: Folhas de árvores, gramíneas, caule novo e caule velho.

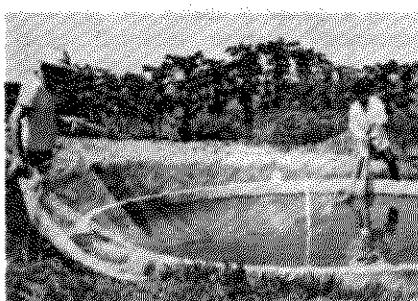
2.ª etapa: ensaio em tanque com água corrente, instalado próximo ao prédio do CRHEA. A água utilizada será da Represa do Lobo. Durante os ensaios, serão analisados os seguintes parâmetros:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio — DBO
- Demanda Química de Oxigênio — DQO
- Oxigênio Dissolvido — OD

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Os peixes estão se desenvolvendo normalmente, tanto em crescimento como reprodutivamente, sendo inclusive observadas algumas desovas com 8 meses de cultivo. Mas, o que tornou o evento surpreendente foi a constatação de que o oxigênio dissolvido na lagoa facultativa, durante a noite, a partir das 24 horas, decresce a níveis baixíssimos, inclusive sendo registrados 0,0 (zero) mg/l de OD nas medidas periódicas de variação de 24 horas em toda a coluna d'água.

No que tange à influência dos peixes no tratamento, certas evidências mostraram que esses organismos funcionam como ótimos condicionadores para lagoas de estabilização, isto é, a sua presença torna o sistema mais equilibrado e consequentemente mais eficiente.



Captura periódica de tilápias na lagoa de maturação, para pesagem e demais medidas e exames

Algumas das evidências foram as sucedidas ocasionais de grande quantidade de lodo proveniente do fundo do tanque que não possui peixes. No tanque em que há peixes, as condições ambientais foram e continuam sendo muito homogêneas não ocorrendo em nenhuma oportunidade o desprendimento de material bentônico.

Outro resultado digno de menção foram os níveis muito mais altos de clorofila encontrados na lagoa facultativa que contém peixes, sugerindo que estes organismos propiciam melhores condições ao desenvolvimento do fitoplâncton concorrendo, assim para aumentar a produção primária.

Em linhas gerais as eficiências apresentadas até o momento para redução de DBO, DQO, sólidos voláteis, nitrogênio e fósforo são:

Lagoas de Estabilização

- DBO — 90 — 95%
- DQO — 50%
- Nitrogênio — lagoa com peixe — 50%
- Nitrogênio — lagoa sem peixe — 70%
- Fósforo — lagoa com peixe — 50%
- Fósforo — lagoa sem peixe — 40%

Campos de Irrigação

- DBO — 80%
- DQO — 80%
- Sólidos voláteis — 70%
- Nitrogênio — 60%
- Fósforo — 30%

Culturas Hidropônicas

- Nitrogênio — 70%
- Fósforo — 40%

5. PERSPECTIVAS FUTURAS

Deve ser enfatizado mais uma vez que a idéia exposta não afasta a possibilidade de integrar ao sistema outros processos de tratamento biológico não citados ou atividades relacionadas que visam sobretudo ao controle da qualidade do meio ambiente, especialmente as voltadas para os recursos hídricos.

Por conseguinte, o sistema não sendo fechado, pode perfeitamente absorver projetos de pesquisa que envolvam filtros biológicos e outras variações dos processos aeróbios inclusive lagoas aeradas, dependendo da disponibilidade de energia.

No que se refere aos processos anaeróbios, já existe grande interesse na sua viabilização. Até o presente momento o resíduo provém de uma poligia instalada junto à área dos trabalhos experimentais. Entretanto, só é tratada a parte líquida do material. A parte sólida está sendo destinada a outras atividades. Este material "desperdiçado" juntamente com outros re-

síduos sólidos, como lixo por exemplo, poderia ser tratado anaerobicamente.

Assim, é de grande interesse a instalação a médio prazo de digestores e aterros energéticos, os quais seriam utilíssimos, pois produziriam energia (biogás) com a biodegradação dos resíduos sólidos.

Esta energia poderia, sem dúvida, ser aproveitada pelo sistema de modo a torná-lo menos oneroso e consequentemente mais econômico.

No campo das idéias e perspectivas pode-se pensar inclusive na possibilidade do aproveitamento de energia pro-

veniente de fontes naturais, como edíca e solar tornando o complexo ainda mais auto-suficiente.

Outro grande interesse incorporado ao projeto é a pesquisa de outros organismos que poderiam viver nas condições especiais encontradas nos reatores biológicos.

Melhor dizendo, nas lagoas de estabilização, por exemplo, seria interessante testar outras espécies de peixes que poderiam se adaptar. Nas hidropônicas, existe a possibilidade de se pesquisar maior variedade de vegetais economicamente úteis e assim por diante.

A pesquisa de outros organismos que se adaptem a viver nestas condições especiais, promoveria uma melhor utilização dos subprodutos dos processos de estabilização, através de uma ampla variedade de opções desejáveis.

O resultado final seria o desenvolvimento de novas tecnologias ambientais inclusive com relação ao conhecimento sobre o comportamento biológico de certas espécies, as quais poderiam ser de extrema importância no futuro como novas fontes de alimentos e contribuiriam para um efluente de melhor qualidade.