

SISTEMA DE TRATAMENTO ALTERNATIVO DE EFLUENTES UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS: UM ESTUDO DE CASO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES FRIGORÍFICOS POR *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*

Artur Monteiro Leitão Júnior

Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
artur_ml_junior@yahoo.com.br

Dayane Zandonadi Soares

Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
ecodayane@yahoo.com.br

Alfredo Arantes Guimarães

Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
alfredo.arantes@bol.com.br

José Luís Bianchi

Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
rbbianchi50@terra.com.br

Leonardo Dias Rezende

Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia

Genilda Maria de Oliveira

Profa. Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
genioli@eafudi.gov.br

RESUMO

De acordo com Braile (1983), efluente é uma “substância líquida, com predominância de água, contendo moléculas orgânicas ou inorgânicas das substâncias que não se precipitam por gravidade”. Assim, diante da necessidade de tratamento dos efluentes, as macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface d'água), as quais possuem o papel de purificação dos corpos hídricos, foram utilizadas para este fim; nesse caso, testou-se experimentalmente o desempenho das referidas macrófitas no tratamento secundário, sem o tratamento prévio, do efluente frigorífico das linhas mista e vermelha. Para avaliação do desempenho, realizaram-se análises visuais e físico-químicas, as quais demonstraram que a utilização desses organismos diretamente sobre o efluente bruto não mostrou eficácia, em virtude da mortalidade das plantas. Não obstante, vale salientar que as experiências não-exitosas indicam a necessidade de adequação das metodologias, buscando sempre técnicas mais eficientes e acessíveis economicamente.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes. Macrófitas aquáticas. Frigoríficos.

SYSTEM OF ALTERNATIVE EFFLUENTS TREATMENT USING AQUATICS MACROPHYTS: A STUDY OF CASE OF THE OF EFFLUENTS TREATMENT BELONGING TO THE COLD STORAGE ROOMS FOR *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes*

ABSTRACT

According to Braile (1983), effluent is a "liquid substance, with water predominance, contends organic or inorganics molecules of the substances that do not precipitate for gravity". Thus, in agreement of the necessity of the effluents treatment, the aquatics macrophyts *Eichhornia crassipes* (watery wine) and *Pistia stratiotes* (watery lettuce), which possess the paper of purification of the sources of water, had been used for this end; in this case, the performance of the macrophyts related ones was tested experimentally in the secondary treatment, without the previous treatment, on the effluents of the mixing and red lines belonging to the cold storage room. For evaluation of the performance, visual analyses and physicist-chemistries had been become fulfilled, which had demonstrated that the use of these organisms directly on the raw effluent not shows efficient, in virtue of the mortality of the plants. Despite this, it is interesting to point out that the failed experiences indicate the necessity of adequacy of the methodologies, always searching techniques more efficient and accessible economically.

Keywords: Effluents treatment. Aquatics macrophyts . Cold storage rooms.

INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação e fiscalização da sociedade e dos órgãos ambientais, inclusive na forma de cobranças legais, no que diz respeito à qualidade das águas fluviais, as indústrias buscam promover medidas que minimizem o impacto ambiental causado pela liberação, nos corpos d'água, de seus efluentes de alto passivo ambiental. Dessa forma, vêm alterando, de maneira ainda incipiente, a consciência herdada de que a água funcionaria como um corpo receptor infinito de toda a água residuária resultante do processo industrial.

Um dos reflexos dessa tomada de consciência é a Lei 6.938/81 da República Federativa do Brasil, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, a qual tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida. Essa política visa assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981). De acordo com Braile (1983), efluente é definido como uma "substância líquida, com predominância de água, contendo moléculas orgânicas ou inorgânicas das substâncias que não se precipitam por gravidade".

Uma das possíveis medidas a ser tomada no tratamento de efluentes é a utilização de plantas macrófitas aquáticas, que, segundo o Programa Internacional de Biologia (IBP), são definidas como uma denominação adequada para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos; desta forma, incluem vegetais desde macroalgas até plantas vasculares.

Por necessitarem de altas concentrações de nutrientes para seu desenvolvimento, as macrófitas aquáticas são utilizadas com sucesso na recuperação de rios e lagos poluídos, pois suas raízes podem absorver grandes quantidades de substâncias tóxicas, além de formarem uma densa rede capaz de reter as mais finas partículas em suspensão.

Em vista desse grande potencial de purificação de efluentes por esses vegetais, o projeto tem como intuito o tratamento das águas residuárias derivadas de uma empresa frigorífica, comumente lançadas indiscriminadamente nos corpos d'água. O frigorífico produz duas águas residuárias: aquela que pode ser aproveitada e a água não-aproveitável. A primeira é conhecida como linha vermelha, uma vez que se caracteriza pelos resíduos derivados do abate, tais como vísceras, pêlos e óleos; estes últimos podem servir como insumos na produção de ração animal com acidez controlada e baixa contaminação. A segunda, chamada de linha verde e sem grande valor industrial, compõe-se, dentre outros integrantes, de excrementos, argila, areia e vidro sanitário derivado da planta industrial (SPRINGMANN *apud* BALINT, 2002). Uma outra possibilidade de efluente gerado é a linha mista, na qual os dois tipos anteriores são encontrados. Em relação a estes, a pesquisa se baseou na verificação da eficiência das macrófitas na purificação das linhas vermelha e mista, em específico.

REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO

Segundo o engenheiro químico Pedro Springmann (*apud* BALINT, 2002), o principal ponto de um programa de tratamento de efluentes deve ser a organização de procedimentos que reduzam o seu volume final, gerando-os com menores cargas poluentes, recolhendo-os e transportando-os de maneira correta; além disso, seria fundamental o controle de consumo de água em qualquer local onde ela possa ser consumida, o que pode gerar menor volume de efluentes e, conseqüentemente, menor número de poluentes.

Se as atividades industriais podem ser as mais diversas possíveis, o mesmo ocorre com os efluentes derivados dessas atividades. E, nesse sentido, uma categoria industrial de grande potencial poluidor é, sem dúvida, o ramo frigorífico. Um importante aliado no tratamento de efluentes pode ser considerada a instalação de populações de macrófitas aquáticas no processo, destacadas por seu custo relativamente baixo e grande eficiência de tratamento.

Quanto a esse papel filtrante de algumas espécies de macrófitas aquáticas, intensos estudos e pesquisas já foram realizados, originando uma extensa bibliografia, sobretudo no que diz respeito a trabalhos com a *Eichhornia crassipes* (aguapé).

De acordo com o texto "A poluição é o seu alimento":

Como qualquer planta altamente produtiva, o aguapé exige um meio ambiente rico em nutrientes. A diferença é que os nutrientes do meio hídrico também são poluentes orgânicos (esgotos residenciais, resíduos vegetais e animais) ou inorgânicos (esgotos industriais, produtos de limpeza, metais e resíduos petroquímicos). Devorador da poluição, o aguapé absorve esses nutrientes por um processo que envolve três etapas: física, bioquímica e metabólica.

A etapa física dá-se quando suas raízes, longas e finas, agem como filtro biológico que retém as impurezas da água. A bioquímica acontece porque as impurezas retidas pelas raízes criam um ambiente favorável à proliferação de microorganismos. Eles atuarão sobre elas, decompondo-as e transformando-as em elementos simples, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, manganês e alumínio. A etapa metabólica, ou fisiológica, cumpre-se quando o aguapé absorve esses elementos da água e os transforma, através da fotossíntese, em biomassa ou matéria verde.

Durante esse processo, o aguapé revela uma de suas melhores características: os metais pesados não chegam a ser metabolizados pela planta em níveis que coloquem em risco a utilização de sua parte aérea. Do total da matéria tóxica retida, de 95 a 98% acumulam-se no sistema radicular, preservando as folhas da contaminação.

Ao filtrar e metabolizar a matéria orgânica, o aguapé acaba com o ambiente favorável à proliferação de bactérias e vírus patogênicos (causadores de doenças, como o tifo, a esquistossomose e a febre amarela) e de outros microorganismos que se reproduzem consumindo oxigênio do meio aquático e são responsáveis pela elevação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.), fenômeno típico das águas de esgoto e desfavorável à vida dos organismos superiores (MAFEI, 1988, p. 43).

Ainda em relação ao aguapé, este se mostra também eficiente na remoção de sólidos em suspensão, cuja maior parte é removida por sedimentação ou por adsorção no sistema radicular das plantas (DEBUSK et al. *apud* SALATI, 2001, p. 5). A cobertura densa dessas plantas flutuantes reduz os efeitos da mistura pelo vento, bem como minimiza as misturas térmicas. O sombreamento produzido pelas mesmas restringe o crescimento de outras algas e o sistema radicular impede o movimento horizontal de material particulado (DINGERS *apud* SALATI, 2001, p. 5). Além disso, cargas elétricas associadas ao sistema radicular do aguapé reagem com partículas coloidais, causando a adsorção das mesmas. Desta forma, estas partículas são removidas do líquido e são posteriormente decompostas lentamente por microorganismos associados à rizosfera das plantas (WOLVERTON *apud* SALATI 2001, p. 5; SALATI *apud* SALATI, 2001, p. 5). A eficiência do aguapé na redução da DBO e para produzir condições para nitrificação microbiológica está associada com a sua capacidade de transporte

de oxigênio do sistema foliar para a rizosfera (REDDY et al. *apud* SALATI, 2001, p. 5; JEDICKE et al. *apud* SALATI, 2001, p. 5).

Sendo assim, o aguapé é bastante utilizado nos sistemas de purificação de corpos hídricos, nos quais apresenta diversas finalidades, atribuindo-lhe aplicações em diferentes sistemas, tais como:

a) Sistemas de tratamento terciário para remoção de nutrientes nos quais, especialmente o fósforo e nitrogênio, são incorporados à biomassa das plantas, a qual é removida freqüentemente de tal maneira a se manter o máximo de produtividade primária para remoção dos nutrientes incorporados (TRIVEDY; GUDEKAR *apud* SALATI, 2001, p. 5). O nitrogênio também pode ser removido como conseqüência da dinitrificação microbiológica.

b) Sistemas integrando o tratamento secundário e terciário. Neste caso, além da remoção dos nutrientes, existe também redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O) e da Demanda Química de Oxigênio (D.Q.O.). Neste processo, existe degradação da matéria orgânica e transformações das formas nitrogenadas no canal de aguapé (SALATI *apud* SALATI, 2001, p. 5). A colheita das plantas é feita para manter a produtividade e a eficiência do sistema, projetado com tecnologia que inclui aeradores e em que o tempo médio de retenção da água depende das características do afluente, bem como dos parâmetros pretendidos para o efluente final. Os tempos de residência variam de 5 a 15 dias (DEBUSK et al. *apud* SALATI, 2001, p. 5).

Os parâmetros D.B.O. e D.Q.O. supracitados são definidos, respectivamente, como a quantidade de oxigênio molecular necessária à degradação da matéria orgânica presente no efluente em questão e como a quantidade de oxigênio molecular necessária para a degradação química, tanto das parcelas biodegradável quanto não-biodegradável, do efluente.

São ainda exemplos da aplicação da *Eichhornia crassipes* (aguapé):

A sua grande disponibilidade, alta produtividade e custo nulo incentivaram a criação do projeto Humanização da Bacia do Piracicaba, realizado pelo CENA [Centro de Energia Nuclear Aplicada à Agricultura], sob a coordenação do professor Eneas Salati, e pelo Instituto de Pesquisa, que se transformou num marco das pesquisas sobre o assunto no Brasil.

Em 1981, foi despoluído, à base de aguapés, o rio Piracicamirim. Em 1983, chegou a vez do Piracicaba, desviado para valas com 6.000 metros quadrados da planta. A experiência mostrou a viabilidade do tratamento secundário, com a passagem, por lagoas de decantação, das águas de esgotos de pequenas cidades ou de núcleos residenciais, embora o aguapé exija grandes áreas para agir. Um hectare da planta é suficiente para tratar o esgoto de 3.000 residências (MAFEI, 1988, p. 44).

(...)

segundo o engenheiro agrônomo Néelson de Souza Rodrigues, coordenador do projeto Humanização da Bacia do Piracicaba:

'- Basta introduzir tanques com aguapés nos tratamentos convencionais das águas, o que deveria ser necessariamente obrigatório por lei, pois os tratamentos comuns não eliminam resíduos de metais pesados, detergentes e agrotóxicos, tarefa que a planta desempenharia com grande eficiência'. A experiência no rio Piracicamirim mostrou que o aguapé retinha 90% dos resíduos de fenóis, detergentes, biocidas, óleos e graxas (MAFEI, 1988, p. 48).

Segundo a mesma reportagem da revista já mencionada, a cidade de Pelotas (RS) adotou o mesmo procedimento de tratamento de dejetos por meio de lagoas com aguapés, obtendo bons resultados, dentre os quais se pode citar a redução em até 98% da taxa de Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.). Entretanto, não é somente no tratamento de águas poluídas que a reportagem faz referência à sua aplicação, sendo esta macrófita também utilizada como ração para bovinos, biofertilizante, biogás, composto orgânico, carvão vegetal, álcool e até concentrado protéico para consumo humano.

Uma outra alternativa de aplicação das macrófitas aquáticas é a sua utilização na forma seca, moída e transformada em um material adsorvente e/ou absorvente. Neste estado, o material apresenta uma série de vantagens, pois pode ser embalado, armazenado, transportado e usado a granel ou em reatores no tratamento de efluentes líquidos. Comparando a outros materiais, como, por exemplo, a carvões ativados, apresentam um custo de produção bem

mais baixo. A remoção dos poluentes na biomassa seca das plantas aquáticas acontece pelo fato de, após a secagem, as plantas manterem, mesmo que biologicamente inativas, muitas de suas propriedades químicas, realizando tanto a absorção (adesão de poluentes na interface), quanto a adsorção (adesão do poluente na interface e interpenetração na fase sólida) (SCHNEIDER, 2003)

Da mesma forma do que foi citado em relação à macrófita aquática *Eichhornia crassipes*, o mesmo se procede com a *Pistia stratiotes* (alface d'água), porém sem uma bibliografia tão extensa quanto ao papel bioindicador de poluição das águas, com grandes concentrações de matéria orgânica. A semelhança também é sentida em características como a alta taxa de reprodução, o papel de filtração de dejetos e efluentes industriais, a possibilidade de obtenção de biofertilizantes, biogás, entre outros.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Ao simular as lagoas de tratamento de efluentes do frigorífico, foram utilizados latões de 200 litros, em quantidade de 14 (quatorze), cortados ao meio, na transversal, de forma a obter-se uma maior lâmina superficial de água.

Os efluentes foram recolhidos do FRIGORÍFICO SÃO PEDRO a um volume suficiente, buscando-se a obtenção de diferentes qualidades das águas residuárias descartadas: efluentes de linha vermelha e linha mista.

Foram utilizadas duas espécies de macrófitas aquáticas a fim de avaliar as suas eficiências no tratamento dos efluentes: a *Eichhornia crassipes* (aguapé) e a *Pistia stratiotes* (alface d'água), como ilustradas abaixo.

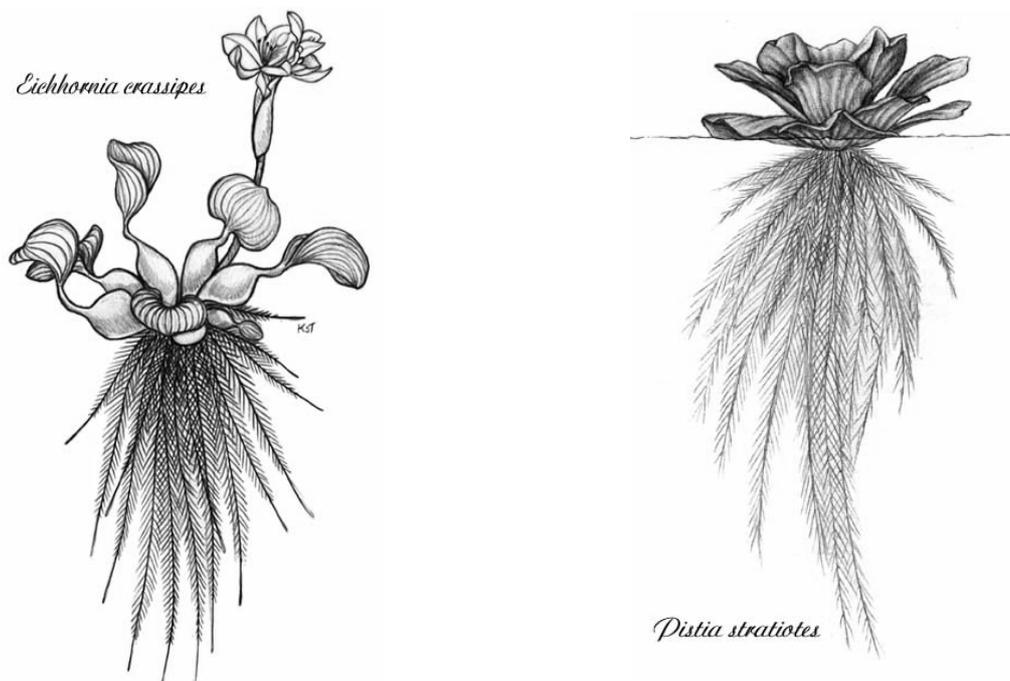


Figura 1 – Macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento de efluentes.

Considerando a lâmina d'água disponível nos latões, definiu-se o seguinte parâmetro populacional para as duas espécies de macrófitas testadas:

Eichhornia crassipes (aguapé): plantas com 5 (cinco) brotamentos e com raízes de 20 centímetros. As variações dos tamanhos populacionais foram de 30 e 50 indivíduos.

Pistia stratiotes (alface d'água): plantas com diâmetro foliar de 12 a 15 centímetros e com raízes de 20 centímetros. As variações dos tamanhos populacionais foram de 30 e 50 indivíduos.

Os procedimentos na montagem do experimento em relação à distribuição dos latões e das populações de macrófitas foram adotados da seguinte forma:

Para a linha vermelha, foram utilizados 5 (cinco) latões, assim distribuídos: para a espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé) usou-se dois latões diferenciados pelo tamanho da população; outros dois foram utilizados para a espécie *Pistia stratiotes* (alface d'água), diferenciados pelo tamanho da população; e, um último latão foi usado como controle do experimento, isto é, com o efluente da linha vermelha sem qualquer espécie purificadora, assim como ocorre normalmente nas lagoas das empresas.

Para a linha mista, foram utilizados 5 (cinco) latões, assim distribuídos: para a espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé) usou-se dois latões diferenciados pelo tamanho da população; outros dois foram utilizados para a espécie *Pistia stratiotes* (alface d'água), diferenciados pelo tamanho da população; e, um último foi usado como controle do experimento, isto é, com o efluente da linha mista sem qualquer espécie purificadora, assim como ocorre normalmente nas lagoas das empresas.

Para a realização do procedimento metodológico em relação às linhas do descarte do frigorífico utilizou-se um total de 10 (dez) latões conforme foi descrito. Os 4 (quatro) latões restantes foram divididos em dois de alface d'água, variando a população, e dois de aguapé, variando a população, dispostos nas águas do corpo receptor, a fim de verificar o crescimento e atuação natural dessas espécies, em corpo hídrico, com ausência de efluentes industriais.

A eficiência da filtração proporcionada por essas duas espécies foi avaliada de acordo com a determinação de parâmetros no início, obtendo-se valores iniciais referentes ao efluente coletado, e durante o experimento em períodos específicos (a cada 15 dias, a partir da segunda semana após a coleta), após a estabilização inicial e da atuação das espécies em pesquisa. Buscou-se avaliar a evolução do tratamento pelas macrófitas, por meio de tabelas e gráficos, comparando suas eficiências em determinados tipos de efluentes dentre os trabalhados. Além disso, intercalando os períodos de análises físico-químicas, foram realizadas análises visuais dos efluentes e do desenvolvimento das macrófitas nestes, observando-se o brotamento de novos indivíduos, a porcentagem de plantas vivas e mortas, o nível do efluente (bem como da água utilizada para controle) e outros aspectos relevantes. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH; temperatura; turbidez; sólidos sedimentáveis; sólidos dissolvidos; sólidos em suspensão, em suspensão fixos, em suspensão voláteis e sólidos totais (determinados pela somatória dos sólidos anteriores). Esses parâmetros foram obtidos por meio de procedimentos descritos em Macedo (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta e estabilização inicial (período de uma semana) das linhas mista e vermelha provenientes do frigorífico provedor, obteve-se resultados de alguns parâmetros analisados, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das análises físico-químicas do efluente bruto, após uma semana de estabilização.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA	LV0(*)	LM0(*)
pH	8,59	7,22
Temperatura da amostra	26,3 °C	26,2 °C
Turbidez	74%	100%
Sólidos Dissolvidos	773 mg/L	4339 mg/L
Sólidos em Suspensão	860 mg/L	4436 mg/L
Sólidos em Suspensão Fixos	33 mg/L	49 mg/L
Sólidos em Suspensão Voláteis	827 mg/L	4387mg/L
Sólidos Totais	1633 mg/L	8775 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	20 ml/L	260 ml/L

Fonte: Os autores, 2005.

O pH faz referência à concentração de íons H^+ ou OH^- na substância ou solução em questão, sendo que uma maior concentração do cátion designa uma maior acidez, enquanto a maior concentração do ânion diz respeito a uma maior alcalinidade.

A turbidez designa a dificuldade de penetração de luz na amostra, constituindo-se num requisito estético de qualidade e é atribuída principalmente aos sólidos em suspensão que diminuem a alcalinidade e reduzem a transmissão da luz no meio.

Os sólidos dissolvidos indicam a parte do efluente que geralmente não é afetada pelo tratamento primário, sendo resultado da diferença entre os sólidos totais e os sólidos em suspensão. Partindo-se dessa definição, pode-se conceituar dois outros parâmetros: os sólidos totais, que são aqueles resultantes do aquecimento da amostra a aproximadamente $100^\circ C$, em estufa, e os sólidos em suspensão, que, por sua vez, são aqueles que não se encontram em solução ou como corpo de fundo.

Ainda em relação aos sólidos em suspensão, distinguiram-se os sólidos em suspensão fixos (aqueles que permanecem após o aquecimento da amostra a aproximadamente $500^\circ C$) e os em suspensão voláteis (resultantes da diferença entre os sólidos em suspensão e os sólidos em suspensão fixos).

Os sólidos sedimentáveis são aqueles resultantes do processo de decantação, constituindo-se, portanto, na fração dos sólidos que se precipitam após um período de estabilidade da amostra. Em relação ao pH, a linha mista apresentou-se menos alcalina em comparação à linha vermelha, sendo estas medições aferidas a temperaturas semelhantes.

Com relação aos sólidos, a linha mista apresentou uma tendência a maiores concentrações nesses parâmetros, decorrente do fato desta linha apresentar uma grande quantidade de material orgânico dissolvido e em suspensão, resultante da excreção dos animais.

Um importante resultado verificado após a primeira semana de adaptação das macrófitas ao efluente foi a morte generalizada dos espécimes de *Pistia stratiotes* submetidos ao tratamento. Essa mortalidade pode ter decorrido da maior fragilidade aparente do vegetal, cujas folhas e estrutura apresentavam uma maior vulnerabilidade às dificuldades de adaptação; outro problema pode ter decorrido da diferença de ambientes próprios ao desenvolvimento natural da *Pistia*, considerando que esta, melhor adaptada à sombra, foi posta em condições de constante insolação.

Após 15 (quinze) dias dessa primeira análise físico-química, realizou-se outra, a fim de avaliar a evolução do tratamento dos efluentes, cujos resultados são demonstrados na Tabela 2 e nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 seguintes. Vale ressaltar que essa nova análise foi realizada somente para os espécimes de aguapé, dada a mortalidade das alfaces d'água.

Tabela 2 – Resultado das análises de pH e temperatura entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA	LV30	LV50	LV0	LM30	LM50	LM0
pH	7,84	7,74	7,80	7,07	7,45	6,83
Temperatura ($^\circ C$)	22,4	22,7	22,8	22,9	23,6	23,8

Diante dos resultados aferidos, percebeu-se que a linha vermelha apresentou uma tendência a possuir uma maior alcalinidade em comparação à linha mista para os mesmo tamanhos populacionais, considerando as pequenas variações de temperatura durante o processo de medição.

(*)NOTA: Para todas as tabelas e gráficos contidos nesse trabalho, adotou-se as seguintes legendas para a *Eichhornia crassipes* (aguapé): LV0 = linha vermelha de controle; LV30 = linha vermelha (população de 30 indivíduos); LV 50 = linha vermelha (população de 50 indivíduos); LM 0 = linha mista de controle; LM 30 = linha mista (população de 30 indivíduos), LM 50 = linha mista (população de 50 indivíduos).

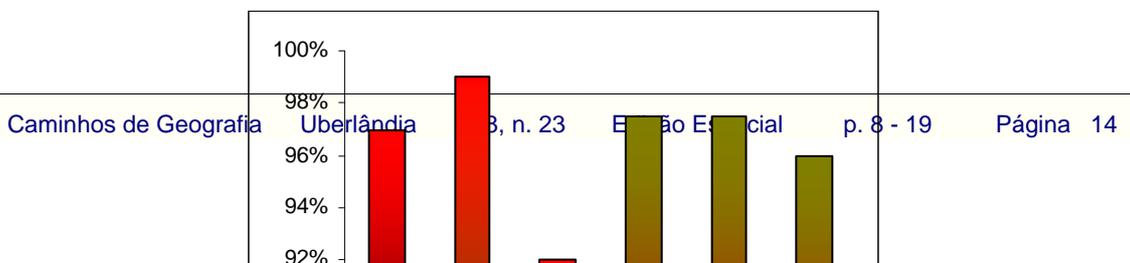


Figura 2 – Comparação da turbidez entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

A Figura 2 diz respeito à avaliação da turbidez. O resultado esperado seria a diminuição desta, em vistas da absorção e adsorção dos sólidos em suspensão pelo sistema radicular das plantas; entretanto, os resultados mostraram um decréscimo ínfimo da turbidez na linha mista de controle, entre os dias de análise, e um aumento da turbidez na linha vermelha de controle, dado, provavelmente, pela evaporação do efluente, que ocasionou maior concentração dos sólidos na porção líquida. Dessa mesma forma, os valores da turbidez para os efluentes com populações vegetais foram altos, resultando da maior concentração do efluente (em decorrência da evaporação e evapotranspiração) e da incorporação da biomassa morta dos vegetais na parte líquida.

A Figura 3 refere-se aos sólidos totais. Em relação a esse parâmetro, dever-se-ia esperar uma redução considerável desses sólidos, algo que ocorreu na linha mista de controle, submetida apenas ao processo de estabilização. Na linha vermelha de controle, essa redução foi pequena e na linha mista, considerando a variação de populações, essa redução foi não-satisfatória. Na linha vermelha, por sua vez, o maior índice populacional, ao contrário do que se esperava (uma quantidade menor de sólidos), apresentou um maior índice de sólidos totais, dado pela concentração e/ou incorporação da biomassa morta.

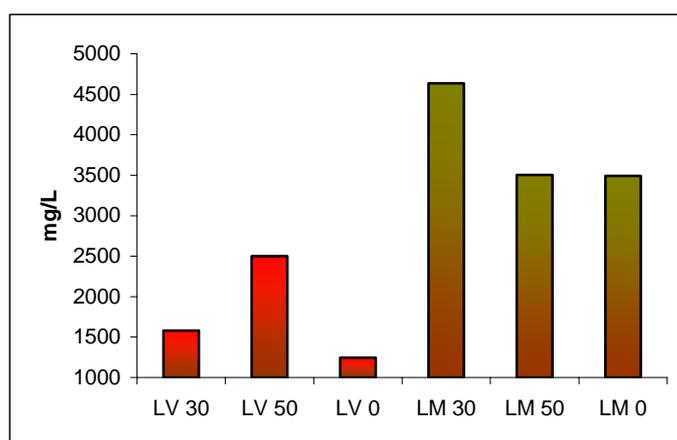


Figura 3 – Comparação de sólidos totais entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

São considerados, na Figura 4 abaixo, os resultados obtidos para os sólidos dissolvidos. Na linha mista, tanto de controle quanto nas de variações populacionais, os sólidos dissolvidos diminuíram no segundo momento, sobretudo na LM50, revelando, em tese, o esforço adaptativo das plantas, não obstante a morte destas, na tentativa de incorporação dos sólidos dissolvidos no meio para a realização das suas funções metabólicas; estes resultados podem ser decorrentes, também, da evaporação e/ou evapotranspiração dos efluentes, diminuindo a quantidade de solvente e transformando, conseqüentemente, essa fração sólida dissolvida nos outros tipos de fração sólida (sólidos totais, sólidos em suspensão e/ou sedimentáveis). Todavia, a linha vermelha apresentou um acréscimo da quantidade de sólidos dissolvidos, tanto na linha de controle, quanto nas de variações populacionais, revelando certa alteração da tendência acima, seja por solubilização de parte da biomassa morta ou mesmo por fatores externos, provavelmente associados às larvas de mosquitos, consideradas nos outros aspectos das análises visuais.

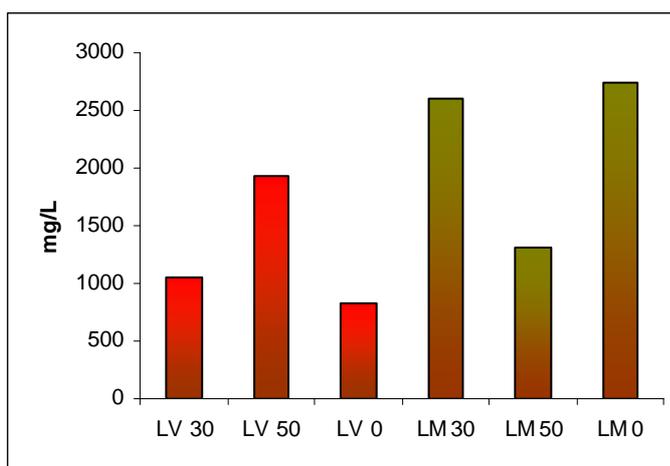


Figura 4 – Comparação dos sólidos dissolvidos entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

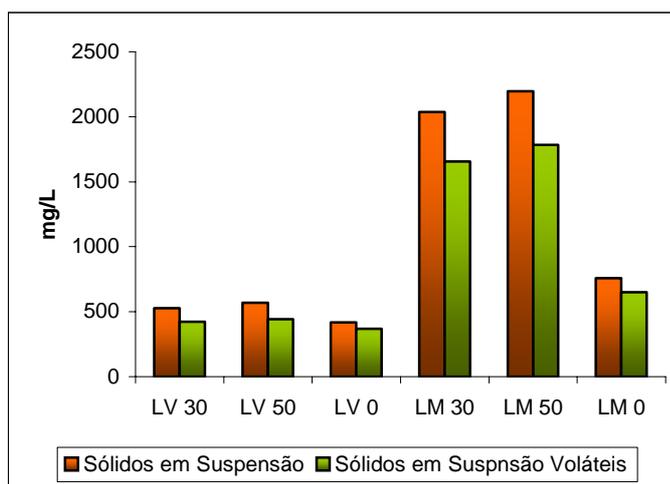


Figura 5 – Comparação dos sólidos em suspensão e sólidos em suspensão voláteis entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

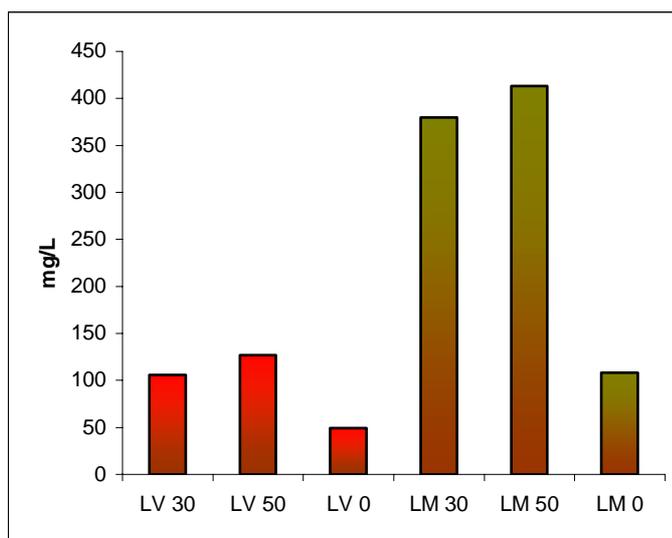


Figura 6 – Comparação dos sólidos em suspensão fixos entre as linhas de tratamento, considerando a variação da população.

Fonte: Os autores, 2005.

As Figuras 5 e 6 revelaram uma tendência ao efluente bruto de controle, submetido ao processo de estabilização natural, apresentar uma diminuição dos sólidos em suspensão, derivados do decréscimo significativo da porção volátil, acompanhado de um aumento pequeno da concentração da porção dos sólidos fixos.

Nas linhas mista e vermelha, por sua vez, os sólidos em suspensão aumentaram em concentração, mostrando certa ineficiência das macrófitas na filtração destes.

De maneira geral, os latões com efluentes para controle apresentaram resultados semelhantes, se não melhores em certos aspectos, do que os efluentes submetidos ao tratamento pelo aguapé, mostrando que os resultados obtidos na comparação de análises foram devidos mais ao processo de estabilização natural do que a fatores relacionados à biofiltração.

De qualquer forma, tendo em vista que a diminuição do volume ocasionada pela evaporação/evapotranspiração determinou certa variação nas concentrações de sólidos e turbidez, dever-se-ia, para um projeto futuro, manter esse fator constante, para melhor verificação e adoção de caráter científico à pesquisa. Além disso, deve-se considerar que os focos de mosquitos podem ter sido parte dos problemas relacionados aos resultados não-exitosos do projeto, como está descrito em pesquisas anteriores de Schneider (2003).

É de fundamental importância salientar que os erros não indicam um abandono do projeto; indicam sim, acima de tudo, a necessidade de modificar certos padrões do sistema, alterando outras variáveis e buscando sempre o melhor resultado.

Quanto às análises visuais, foram realizadas após 15 dias do início da pesquisa, sendo apenas para a espécie *Eichhornia crassipes*, devido à morte generalizada da *Pistia stratiotes*.

Os resultados aferidos revelaram um grande esforço adaptativo exercido pelo aguapé, causando a mortalidade em grande escala dos espécimes em análise, sobretudo na linha mista com população de 30 indivíduos, onde a concentração de efluente foi demasiada para a sobrevivência com sucesso das plantas.

Em relação à quantidade de brotos novos, os latões com maiores populações mostraram uma maior predisposição a apresentarem novos brotamentos, fato natural em decorrência do maior número de indivíduos em esforço adaptativo.

A redução do nível do efluente foi equivalente em todas as linhas, independentemente das populações. Essa redução foi maior, porém, nos latões contendo unicamente água, uma vez que, provavelmente, a taxa de evapotranspiração tenha aumentado, dada à maior atividade metabólica da planta, bem como à taxa de evaporação, uma vez que esta, no que diz respeito aos efluentes, é dificultada pela grande quantidade de sólidos dissolvidos e mesmo pela maior viscosidade aparente.

Em uma nova análise visual, após uma semana da realização da primeira, foram obtidas novas constatações. Diante da mortalidade de grande percentual das plantas, revelou-se uma tendência à não-sobrevivência dos aguapés nos efluentes em questão, sem que estes passassem por um tratamento prévio. Isso pôde ser constatado também pelo baixo índice de brotos novos nessa nova análise, demonstrando um insucesso na tentativa de utilização das macrófitas aquáticas testadas no tratamento do efluente bruto sem um tratamento prévio (físico) e/ou primário (físico-químico), mesmo que básico.

O nível da água manteve a mesma tendência que o verificado na primeira análise: a água dos latões que continham unicamente água do corpo receptor sofreu uma maior redução do nível, dada à maior taxa de evaporação e evapotranspiração. Os latões dos efluentes de controle tiveram uma maior redução do que aqueles contendo as populações dos vegetais, isso porque, a essa altura, a biomassa morta das plantas aquáticas se juntou ao efluente líquido, dificultando a evaporação simples; além disso, o processo de evapotranspiração foi minimizado pela baixa quantidade de vegetais em processo metabólico. Nos latões de controle, por sua vez, mesmo que o único processo de perda d'água tenha decorrido da evaporação, este foi facilitado, talvez, pelo processo de decantação dos sólidos em suspensão.

Ainda com referência a observações sensíveis, notou-se que os espécimes de aguapé em teste sofreram uma degeneração final (todos os indivíduos morreram) após, aproximadamente, 20 dias do início da pesquisa do desenvolvimento das macrófitas aquáticas nos efluentes, acabando por interromper a pesquisa, ao menos nos moldes estabelecidos *a priori*.

Apesar de todos esses resultados negativos, observou-se que, em um dos latões contendo uma pequena quantidade de efluente da linha vermelha, numa proporção bem inferior do efluente em relação ao emaranhado de sistemas radiculares do aguapé, a *Eichhornia crassipes* resistiu aos padrões físico-químicos do mesmo, abrindo uma nova perspectiva de pesquisa futura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desejo de se conseguir estabelecer uma forma de tratamento de efluentes por macrófitas aquáticas não é algo totalmente utópico, uma vez que diversos trabalhos a esse respeito vêm sendo elaborados e pesquisados, de maneira que alguns deles obtiveram resultados satisfatórios e, até mesmo, promissores.

Seguindo esta oportunidade de conciliar um tratamento de custos baixos e viáveis com uma remoção eficiente de substâncias indesejáveis, objetivamos criar um trabalho pioneiro no sentido de se utilizar as plantas em uma etapa primária de tratamento, reduzindo ao máximo os custos.

A princípio, o trabalho utilizou-se de duas "espécies-problema": *Pistia stratiotes* (alface d'água) e *Eichhornia crassipes* (aguapé), buscando reverter em muito a mentalidade de que se tem a respeito desses organismos, vistos como pragas, desconsiderando totalmente as suas potencialidades.

Essas espécies são consideradas como potenciais problemas pelo fato de que existem riscos relacionados ao manejo inadequado das mesmas, principalmente a despeito de suas características reprodutivas aceleradas. Devido à proliferação exagerada, o aguapé pode passar de organismo benéfico, na atuação como despoluidor de águas poluídas, a maléfico, em virtude da geração do fenômeno de eutrofização – isto é, o crescimento excessivo das plantas aquáticas, a níveis tais que sejam causadoras de interferências em relação aos usos desejáveis do corpo d'água – bem como de suas conseqüências indiretas, tais como o entupimento de turbinas de hidrelétricas, o aumento do grau de evaporação das águas e a ocorrência de assoreamento em lagoas pouco profundas por causa dos sedimentos que são retidos em suas raízes.

Apesar dessas novas perspectivas, a utilização dessas macrófitas no tratamento de efluentes brutos, nos moldes estabelecidos, mostrou-se infrutífera, revelada pela total mortalidade das plantas no sistema elaborado. Nesse sentido, a pequena melhora dos resultados de certos parâmetros físico-químicos avaliados decorreu mais do fato da estabilização natural dos efluentes do que pela ação propriamente dita das plantas.

Submetidas às condições totalmente desfavoráveis, mesmo para essas plantas biofiltradoras, avaliou-se uma fragilidade maior da alface d'água em relação ao aguapé, sendo que esta

última, ainda que tenha morrido por completo na sistemática metodológica criada, demorou mais para fazê-lo, apresentando esforços adaptativos maiores.

Se o propósito do projeto inicial não foi bem sucedido, ao menos se verificou, mesmo que acidentalmente, que espécimes do aguapé resistiram a concentrações baixas de efluente da linha vermelha. Embora essa constatação não tenha se realizado em níveis científicos, abre espaço para novas especulações e possibilidades, necessitando de novas pesquisas para que estas, futuramente, possam ser testadas.

Não obstante o projeto, em última estância, não tenha atingido os resultados positivos esperados, vale salientar que as experiências não-exitosas são, também, etapas fundamentais da construção de resultados válidos e empiricamente aplicáveis.

REFERÊNCIAS

BALINT, Vilma. Higienização sob vigilância. **Revista Nacional da Carne**, out. 2002. Disponível em: <http://www.dipemar.com.br/carne/308/materia_especial_carne.htm>. Acesso em: 06 ago. 2005.

BRAILE P.M. Efluente. In: **Dicionário inglês português de poluição industrial**. Rio de Janeiro: Serviço Social da Indústria, 1983.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2005.

MACEDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2 ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2003.

MAFEI, M. O bombril das águas. **Globo Rural**, Rio de Janeiro, p. 40-51, jul. 1988.

SALATI, E. **Controle de qualidade de água através de sistemas de Wetlands construídas**. 2001. 16f. Trabalho de pesquisa científica da CEA/UNESP – Universidade de Santo Amaro, São Paulo, 2001.

SCHNEIDER, I.A.H. **Plantas aquáticas: Adsorventes Naturais para a Melhoria da Qualidade das Águas**. Trabalho de pesquisa científica da UFRS, 2003. Disponível em: <<http://www.lapes.ufrgs.br/ltn/pdf/lvo-Trabalho1.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2005