

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ENSAIOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA
DE CHAPA DURA DE FIBRA DE MADEIRA**

CARLOS CESAR BREDÁ

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia – Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Novembro - 1999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ENSAIOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE
CHAPA DURA DE FIBRA DE MADEIRA**

CARLOS CESAR BREDÁ

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU – SP
Novembro - 1999**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
DIRETORIA DE SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Breda, Carlos Cesar
B831e Ensaio de tratamento de efluentes de indústria de
 chapa dura de fibra de madeira / Carlos Cesar Breda.
-- Botucatu, 1999
 xv, 98 f. : il. color. ; 28 cm

 Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu,
1999
 Orientador: Paulo Rodolfo Leopoldo
 Bibliografia: f. 89-98

 1. Efluente industrial - Material sólido em suspen-
 são - Peneiramento rotativo 2. Efluente industrial -
 Poluição - Redução 3. Resíduo industrial - Tratamento
I. Título

CDD(21) 628.43

Palavras-chave: Água; Qualidade da água; Tratamento de
 efluentes; Peneira rotativa; Fibra de madeira;
 Chapa de madeira.

“A única derrota da vida é a fuga diante das dificuldades. O
Homem que morre lutando é um VENCEDOR.”

(autor desconhecido)

“ Ainda que eu tenha o dom de profetizar e
conheça todos os mistérios e toda a ciência; se
não tiver AMOR, nada serei ”

I Cor 13:2

Aos meus queridos pais

Carlos Tadeu Breda e Carmem Martins Breda

Pela educação maravilhosa e principalmente por terem me dado o que de mais precioso tenho: a VIDA.

Dedico

Aos meus avós Francisco (in memorian), Carmem (in memorian), Nelo e Angélica, aos meus irmãos Angélica, Marcelo e Tadeu, sobrinhos, cunhados e tios por quem tenho muita consideração e estima.

Ofereço

. AGRADECIMENTOS .

A Deus, que é a razão de tudo e que me confiou mais essa missão.

Ao Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo por ter confiado na minha capacidade profissional, pela orientação, pelo exemplo profissional e humano, pelos ensinamentos e colaboração em todas as etapas desse trabalho e, principalmente pela amizade sincera firmada nesses anos.

À FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo financiamento do projeto desde sua implantação até a conclusão e pela Bolsa de Estudo concedida, sem os quais ficaríamos impossibilitados de realizar o presente estudo.

À Prof^a Dr^a Maria de Lourdes Conte, responsável pelo Laboratório de Recursos Hídricos, pela paciência em transmitir, da melhor maneira possível, todos seus conhecimentos, sem medir esforços em ajudar nas horas difíceis e, muito mais pela convivência e amizade sincera durante esses anos.

À Prof^a Dr^a Maria Helena Moraes, pela orientação nos estágios de iniciação científica na época de graduação, pela fundamental contribuição no despertar em mim o gosto pela pesquisa e também pela amizade e atenção sempre dispensadas.

Ao Departamento de Engenharia Rural e à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu, pela excelente formação profissional, pela oportunidade de poder participar do curso de Pós-Graduação e por proporcionar condições necessárias a realização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, Coordenador do curso de Pós-Graduação “Energia na Agricultura” e demais membros do Conselho de Curso pela constante colaboração. A todos os docentes responsáveis pelas disciplinas do curso de Energia na Agricultura, pelo empenho e capacidade, o que nos possibilitou enriquecimento técnico e profissional.

À Duratex S/A, Fábrica Paula Souza, em particular o Eng^o Carlos Popolo, gerente executivo, por permitir a utilização do efluente. Também aos funcionários Eng^o Agrônomo Gustavo Bastos, Almir e Wagner, e pela atenção dispensada.

Ao Eng^o José Antonio Dorini pelo grande apoio no início do projeto.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Rural da FCA: Gilberto, Silvio, Ailton, Wesley, Ronaldo, Pedro, Adão, Lino, Tonho, Fernando, Maury, Maria, Bel, Rosângela, Rita e Maria do Carmo, pelos constantes auxílios desde a implantação até o desenvolvimento do trabalho e, principalmente pelo carinho, apoio e amizade.

A todos do Departamento de Solos da FCA, em especial ao Prof. Dr. Hélio Grassi Filho e ao técnico José Carlos pela colaboração na realização das análises de determinação das espécies químicas.

Ao CEMEQ – UNESP (Centro de Manutenção de Equipamentos), em nome dos funcionários Fortes, Manoel, Célio, Pedro, pela dedicação e empenho no projeto, desenvolvimento e construção do sistema de peneiras rotativas, sem o qual o trabalho não seria realizado.

À minha família, e a todos os meus amigos, pela colaboração e apoio durante todo o período de desenvolvimento desse trabalho.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação da FCA, Marilena, Marlene, Jaqueline e Kátia pela seriedade, educação e atenção que sempre nos dispensaram.

Ao senhor Dorival de Pieri (Dori), pelo auxílio e colaboração em todas as fases do trabalho.

Aos funcionários da FCA: Sr. Jairo Tavares e meu padrinho Francisco Martins Filho do Setor de Manutenção; ao senhor Nilson e motoristas Carlinhos, Amauri e Vitor do Setor de Transportes; à minha querida amiga Sílvia Stein da Supervisão das Fazendas, aos amigos Eduardo e Ermet do xerox, ao Carlos Magrão do LDI e a todo pessoal da Biblioteca, pela inestimável colaboração e amizade.

Às estagiárias Andréa Guimarães e Aline Piedade, acadêmicas do curso de Agronomia FCA/UNESP-Botucatu, pela amizade, contribuição e auxílio nas análises e demais fases da pesquisa. Ao amigo Lucas Conte Gouveia pelo auxílio e eficiência nos trabalhos de laboratório.

Aos demais amigos e colegas pela consideração e amizade, que de maneira direta ou indireta colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa.

. SUMÁRIO .

	. Página .
LISTA DE QUADROS	. XI .
LISTA DE FIGURAS	. XV .
1. RESUMO	. 1 .
2. SUMMARY	. 4 .
3. INTRODUÇÃO	. 7 .
4. REVISÃO DE LITERATURA	. 13 .
4.1 Visão geral	. 13 .
4.2 Aspectos quantitativos e qualitativos	. 17 .
4.3 Importância da recuperação de águas servidas	. 21 .
4.4 Sistemas de tratamento	. 22 .
4.5 Caracterização da indústria e do atual sistema de disposição de efluente	. 27 .
5. MATERIAL E MÉTODOS	. 32 .
5.1 Histórico da proposta de estudo	. 32 .
5.2 Visão geral do trabalho	. 35 .
5.3 Caracterização do efluente	. 37 .
5.4 Local de desenvolvimento dos ensaios	. 38 .
5.5 Correção do pH	. 39 .

	. X .
5.6 Peneira Rotativa	40 .
5.7 Rotação da peneira.....	47 .
5.8 Discriminação das amostras.....	47 .
5.9 Determinação da vazão	49 .
5.10 Sólidos	51 .
5.11 pH	52 .
5.12 Turbidez	53 .
5.13 Condutividade elétrica	53 .
5.14 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	53 .
5.15 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	56 .
5.16 Espécies químicas	57 .
5.17 Ensaio Extras	57 .
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60 .
6.1 Sólidos	60 .
6.2 pH	71 .
6.3 Turbidez	71 .
6.4 Condutividade elétrica	72 .
6.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	72 .
6.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	79 .
6.7 Espécies químicas	79 .
6.8 Ensaio extras	85 .
7. CONCLUSÃO	87 .
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89 .

. LISTA DE QUADROS .

. Quadro .	. Página .
1. Resultados das análises de efluentes representativos do deságue das prensas e chegada ao campo Santa Luzia.....	38 .
2. Separação das amostras de entrada e de saída em função dos ensaios e peneiras correspondentes.	48 .
3. Valores médios de vazão utilizados para cada peneira em todas as rotações e as amostras a que se referem.	50 .
4. Granulometria das partículas de serragem utilizadas nos ensaios extras.	58 .
5. Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.	61 .
6. Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.	62 .
7. Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira..	63 .

8. Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm) incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 64 .
9. Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 65 .
10. Resultados obtidos para sólidos totais (ST) nas amostras coletadas nos testes de peneiras revestidas com TELA e BIDIM. 67 .
11. Valores obtidos para Sólidos em Suspensão (SS) e Sólidos Dissolvidos (SD), e porcentagem de ocorrência em relação a ST para as amostras do Ensaio 4. 69 .
12. Valores obtidos para Sólidos em Suspensão (SS) e Sólidos Dissolvidos (SD), e porcentagem de ocorrência em relação a ST para as amostras do Ensaio 5..... . 70 .
13. Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 73 .
14. Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 74 .
15. Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 75 .

16. Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 76 .
17. Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira. 77 .
18. Resultados finais das determinações de DQO para as amostras referentes aos Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5. 78 .
19. Resultados de DBO obtidos nas análises de amostras das combinações escolhidas para representar os Ensaio 1, 2, 3, 4, 5. 79 .
20. Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm). 80 .
21. Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm). 81 .
22. Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm). 82 .
23. Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm). 83 .

24. Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm).....	. 84 .
25. Resultados das análises de sólidos totais (ST) para amostras do Ensaio Extra 1 (peneira 5 – malha 0,25 mm).....	. 85 .
26. Resultados das análises de sólidos totais (ST) para amostras do Ensaio Extra 2 (peneira 4 – malha 0,50 mm).....	. 85 .
27. Resultados das análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para amostras dos Ensaios Extras 1 e 2.	. 86 .

. LISTA DE FIGURAS .

. Figura .	. Página .
1. Peneira rotativa do tipo BFRD, produzido pela Société Matériel Perrier, França. (sem escala).	34 .
2. Esquema dos ensaios com efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira. . .	36 .
3. Esquema das vistas frontal e lateral da peneira rotativa do tipo BFRD e respectivas dimensões.	41 .
4. Vista frontal do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu.	44 .
5. Vista lateral do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu.	44 .
6. Vista interna do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu, onde se pode observar a peneira rotativa e, no detalhe em azul, o moto-redutor.	44 .
7. Detalhe do painel eletrônico de comandos.	45 .
8. Peneiras de diferentes malhas utilizadas nos ensaios.	45 .
9. Vista geral do sistema proposto para tratamento de efluente em planta baixa (sem escala e sem dimensões).	46 .
10. Detalhe da bomba centrífuga KSB, utilizada no recalque do efluente dos reservatórios para o interior do sistema.	49 .

1 . RESUMO

Os efluentes de indústrias de chapa dura de fibra de madeira originários da exploração de eucalipto, são caracterizados por altos valores em DQO e material sólido em suspensão, tornando-os altamente poluentes para o ambiente e, principalmente, para os recursos hídricos.

As empresas que atuam nesse segmento fazem o tratamento de seus efluentes de diversas maneiras, sendo a disposição por irrigação em solos cultivados, uma das formas utilizadas. Essa prática tem como base a melhoria da qualidade da água pela sua infiltração e principalmente pela evapotranspiração das plantas.

Porém o lançamento em solos tem consequências, às vezes, muito graves, principalmente no que se refere a colmatção do solo e também à possível contaminação do lençol freático.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de tratamento de tais efluentes através do processo de peneiramento, visando a remoção das fibras em suspensão.

Para isso desenvolveu-se um equipamento composto por peneiras rotativas substituíveis, com base em modelo francês, recomendado para o tratamento de efluentes industriais.

Optou-se por esse sistema após a verificação da presença de grande quantidade de material sólido presente no efluente.

Foram realizados 5 ensaios combinando-se peneiras rotativas de diferentes malhas (0,25 ; 0,50 ; 0,75 ; 1,00 e 1,50 mm) com suas respectivas rotações (13 ; 20 ; 33 ; 41 e 53 rpm) e vazões de entrada do efluente no sistema, que também foram 5 para cada ensaio.

Para se verificar a influência do sistema proposto na redução da carga poluidora do efluente foram coletadas amostras na entrada do sistema (efluente “in natura”) e na saída (efluente após peneiramento) totalizando 150 amostras. Nessas amostras foram analisadas as seguintes variáveis: Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, pH, Turbidez, Condutividade Elétrica, DQO, DBO e Espécies Químicas (N, P, K, Cu, Fe e Mn).

Os resultados obtidos não se mostraram satisfatórios, já que não se observou a atuação esperada do peneiramento na redução dos valores das variáveis nas amostras de saída quando comparados com as de entrada. Isso pode ser associado às altas concentrações de Sólidos Dissolvidos, em torno de 90% do material sólido total do efluente.

Sendo assim, pode-se concluir que a adoção do sistema ora proposto, na dimensão industrial, fica inviabilizada, pois o mesmo não atenderia às necessidades de tratamento de efluentes de indústrias de chapa dura de fibra de madeira ou de outros com características semelhantes, principalmente com relação aos sólidos dissolvidos.

2 . SUMMARY

TREATMENT TESTS OF HARDBOARD INDUSTRY WASTEWATER. Botucatu, 1999. 106 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CARLOS CESAR BREDÁ

Adviser: Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo

The wastewater from hardboard industries coming from the eucalyptus exploration are characterized by high values of COD and suspended solid matter. For this reason, the wastewater significantly pollute the environment, specially the water resources.

The industries that act in this area treat their wastewater by different ways. The irrigation of cultivated lands is one of the options for treatment of the wastewater. By using this procedure, there should be an improvement in the water quality because of its infiltration into the soil and because of the plant's evapotranspiration.

However, the wastewater irrigation of the soil sometimes brings severe consequences, which are mainly related to the development of crusts on the soil surface and the possible contamination of the ground water. The objective of the present research was based on the development of a system to treat such wastewater by using the screening process, in order to remove the fibers in suspension. To do so, it has been developed an equipment that contains rotating changeable screens based on a French model that is recommended for the treatment of industry's wastewater.

Five trials have been performed combining rotating screens with different nets (0.25, 0.50, 0.75, 1.00, and 1.50 mm) with their respective rotations (13, 20, 33, 41, and 53 rpm) and also with 5 different flows of the wastewater incoming in the system.

In order to verify the influence of the proposed system on the reduction of the pollutant capacity of the wastewater, 150 samples were collected at the inlet of the system ("in natura" wastewater) and at it's outlet (wastewater after screening). From these samples, the following variables have been analyzed: total solids, fixed total solids, volatile total solids, pH, turbidity, electrical conductivity, COD, BOD, and chemical elements (N, P, K, Cu, Fe, and Mn).

The results of this study were not satisfactory. The screening did not work as expected in the reduction of the variables values in the samples collected from the system's outlet when compared to the samples collected at it's inlet. This finding can be

justified due to the very high amounts of dissolved solids (about 90% of the total solid material of the wastewater).

In conclusion, the adoption of this proposed system is not viable on the industrial dimension because it doesn't treat the wastewater from hardboard industries or other wastewater with similar characteristics in a desirable way, specially in relation to the dissolved solids.

KEYWORDS : water quality; waste water treatment; rotativ screen; hardboard; environment; wood fiber.

3 . INTRODUÇÃO

Quando se aborda o Ciclo Hidrológico, em suas fases básicas, tem-se a falsa idéia de que a água, sendo um recurso natural renovável, se apresenta como um produto inesgotável e, assim sendo, não haveriam maiores problemas quanto a sua pronta disponibilidade para atender as mais diversas finalidades. Esse pensamento decorre do fato de que toda água existente na superfície do planeta está sujeita a evaporação e retorna em seguida na forma de chuva ou qualquer outro tipo de precipitação.

Infelizmente a realidade vem mostrando que, devido a falta de critérios definidos no seu uso, há uma tendência cada vez maior de escassez desse indispensável recurso, prevendo-se, segundo alguns pesquisadores, a possível ocorrência de conflitos mundiais, prejudicando o desenvolvimento de muitos países e desencadeando disputas entre nações instáveis da África e Oriente Médio, que se localizam em regiões menos privilegiadas.

Algumas disputas já vem sendo observadas entre Egito e Etiópia (disputa pelas águas do Rio Nilo); Síria Iraque e Turquia (Rio Eufrates) e Jordânia e Israel (Rio Jordão). Estima-se, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) que, no mundo, já existem cerca de 70 regiões em conflitos pela posse de fontes superficiais de água potável.

Pela sua vital importância, a atenção que vem sendo dispensada à água, não só pelo meio científico, como também por diferentes setores da sociedade, se mostra cada vez mais marcante.

Torna-se claro que esta crescente preocupação tem sérias razões de ser, fundamentando-se na presença dessas possíveis crises futuras que seriam decorrentes de sua insuficiente disponibilidade frente as necessidades de uma comunidade qualquer comprometendo, direta ou indiretamente, o seu desenvolvimento sócio-econômico.

Previsões como estas tem sido apresentadas no meio científico por diferentes fontes, muitas delas consideradas como de extremos exageros e alarmantes. As previsões de diferentes cientistas salientam que, em função das atuais taxas de retirada da água, o ciclo hidrológico poderia fornecer água potável para uma população mundial de 8 bilhões de habitantes, número que deverá ser atingido por volta de 2020. Conforme eles observam, tais previsões, consideradas graves, foram feitas com base no princípio de que o produto deverá estar disponível “onde e quando” for necessário.

A Terra apresenta 75% de sua superfície coberta por água, o que equivale a uma área de 372 milhões de quilômetros. Porém, 97,3% desse total são áreas oceânicas e, por serem salgadas, não permitem um imediato aproveitamento para o consumo humano. Existem ainda, 2,1% imobilizados nas geleiras e calotas polares, restando apenas

0,63% de água “doce” em estado líquido para o consumo humano. Do pequeno percentual restante, ainda há uma parte de exploração inviável.

Desde 1950 até os dias de hoje o consumo mundial de água triplicou e ela já se tornou recurso escasso em mais de 20 países, atingindo direta ou indiretamente, uma população de aproximadamente 230 milhões de pessoas. Além disso, do total da população mundial, 1,2 bilhão de habitantes dispõem de menos água do que o necessário.

Em função da constante expansão demográfica e da evolução tecnológica, maiores quantidades de água são exigidas, pois esse recurso é utilizado em todos os setores da economia mundial, apresentando forte ligação com o desenvolvimento dos países, em outras palavras, quanto mais desenvolvido for um país, maior será sua necessidade por água, seja para cumprir as necessidades da população (por exemplo:- abastecimento, higiene e lazer), ou para o funcionamento de indústrias, usinas hidrelétricas e também para a produção de alimentos.

O desenvolvimento dos países associado ao maior consumo de água traz, de um modo geral, consequências muitas vezes indesejáveis, como a poluição dos cursos de água; o assoreamento dos rios (diretamente ligado a compactação e a erosão do solo); as enchentes; além do elevado desperdício, que são marcas registradas daquelas atividades econômicas.

Todos esses problemas causam maior desorganização do ciclo natural de reposição de água nos mananciais e reservatórios, pois faz com que sejam retiradas quantidades superiores à própria capacidade de reposição por parte do Ciclo Hidrológico.

No Brasil, analistas econômicos dizem que um dos maiores problemas é a cultura da abundância já absorvida pela população desde longa data, pois no caso

específico do país tem-se um significativo privilégio em termos de água em relação a outros povos.

Confirmando essa observação, sabe-se que o Brasil é o país mais rico do mundo em água potável, estimando-se que dispõe em seus domínios cerca de 8% do total mundial desse recurso. Mas ao observar essa situação com mais cautela, nota-se que 80% de toda essa água estão concentrados na Bacia Amazônica, onde se localizam apenas 5% da população, restando para os outros 95% dos habitantes apenas 20% de toda água potável do território brasileiro.

O privilégio do Brasil quanto aos recursos hídricos não se resume apenas às águas superficiais, devem-se considerar também a significativa presença de água subterrânea. Nesse sentido destaca-se o Aquífero Guarany (antigo Aquífero Botucatu) que é um dos maiores reservatórios subterrâneos do mundo, abrangendo 7 estados brasileiros, além de regiões do Uruguai, Paraguai e Argentina. No Brasil, prevê-se que cerca 40% da água destinada ao abastecimento urbano é de origem subterrânea.

Além das possíveis restrições futuras quanto a disponibilidade de água no tocante a aspectos quantitativos, há que se considerar também os aspectos qualitativos, que impedem a imediata reutilização das águas sem prévio tratamento, o qual, às vezes, pode se mostrar complexo e oneroso para o poder público ou mesmo para a iniciativa privada.

Os diversos tipos de poluição são os principais causadores da redução e pronta disponibilidade de água quando se refere aos aspectos qualitativos.

Onde quer que exista, a poluição sempre será um grave problema para o homem e para o meio ambiente, porém no Brasil ela se mostra com extrema gravidade, principalmente na região metropolitana de São Paulo, chegando em alguns casos a atingir

proporções incontroláveis. Esse alto grau de poluição das águas superficiais, levou um diretor do Departamento de Águas e Esgotos (DAEE) a fazer a seguinte afirmação: *“Em quantidade estamos no limite, e qualidade a nossa água não tem”*.

Algumas soluções que devem ser buscadas com urgência estão ligadas ao tratamento dos esgotos domésticos e dos efluentes industriais e à conscientização do povo no tocante ao desperdício.

Pesquisas mostram que metade da população não dispõe de rede de esgotos, sendo que muitos ainda se encontram dispostos a “céu aberto”. De forma mais grave ainda, sabe-se que 90% dos esgotos estão sendo despejados nos cursos de água naturais sem nenhum tratamento prévio, comprometendo a qualidade dos mesmos.

Quanto aos efluentes industriais, sabe-se que somente nas últimas décadas, quando os países do primeiro mundo começaram a exigir das empresas brasileiras uma maior preservação do meio-ambiente, é que começou a haver uma preocupação no que se refere ao tratamento dos mesmos. Atualmente com a criação de órgãos fiscalizadores, estão surgindo, com mais frequência, as estações e unidades de tratamento nas diversas indústrias.

Isso fez com que um maior número de pesquisadores começasse a demonstrar interesse em realizar estudos nessa área, de modo a desenvolver novas tecnologias para o tratamento e reutilização das águas residuárias oriundas dos processos industriais, levando sempre em consideração a viabilidade econômica e operacional dos sistemas desenvolvidos.

Seguindo essa tendência, o Laboratório de Recursos Hídricos da FCA – UNESP – Botucatu-SP, iniciou estudos visando o desenvolvimento de novas tecnologias que

viesses a melhorar a qualidade dos efluentes domésticos e industriais antes de sua disposição final no ambiente.

Assim, os objetivos básicos da investigação que ora é apresentada, estão voltados para a avaliação do desempenho do peneiramento rotativo na remoção do material sólido em suspensão presente no efluente de indústria de chapa dura de fibra de madeira, o que, de acordo com a natureza do efluente, reduziriam uma parte considerável de componentes responsáveis pela colmatção do solo e pela poluição ambiental.

Utilizou-se, nesse processo, sistema de peneiras rotativas construído no Brasil, tendo como base o modelo francês recomendado por pesquisadores do CIRAD, visando a melhoria da qualidade do efluente em questão.

4 . REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Visão geral

Berthet (1976), já há mais de 20 anos, relatava que muitos países da Europa vinham consumindo mais água do que realmente dispunham, encontrando-se, como definido pelo autor, em um estado de “penúria crônica” ante a disponibilidade do produto em condições satisfatórias. De acordo com este autor, o aumento do consumo de água, sobretudo nos países industrializados, era estimado como sendo da ordem de 3 a 4% ao ano.

O primeiro país a se preocupar com os problemas ambientais foi a Inglaterra que, a partir da Revolução Industrial, passou a sofrer os efeitos da poluição e viu-se compelida a estabelecer uma série de normas e proibições sobre a poluição atmosférica e dos

recursos hídricos que, segundo Costa Jr. e Gregori (1981), estão reunidas em lei de 1876, a “River Pollution Prevention Act”.

Porém, as mais importantes leis só começaram a ser implantadas a partir da década de 60 e principalmente depois da Primeira Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Estocolmo na Suécia, no ano de 1972. Nessa conferência surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável e muitos governos e empresas do setor privado começaram a levar em conta aspectos ligados ao meio ambiente em seus planos econômicos (Conte e Leopoldo, 1998).

O agravamento de problemas ambientais levou, então, à realização da Segunda Conferência em 1992, no Brasil, a ECO-92, que segundo Rebouças (1997) teve como principal resultado a Agenda-21.

A partir desses importantes eventos surgiram novas normas visando alcançar a sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade de vida da sociedade, dando atenção especial ao controle de qualidade através da implantação das normas da ISO-9000, Selo Verde e ISO-14000, bem como apresentando uma legislação mais rigorosa em termos de gestão ambiental (Rebouças, 1997).

No Brasil, havia na Constituição Federal, promulgada em 1988, em seu capítulo VI – artigo 22, algo referente ao meio ambiente: “Dispõe sobre as diretrizes básicas da poluição ambiental em todo território nacional” (Brasil, 1995). Porém desde 1934 já existia o Código da Água, que se refere à classificação dos corpos de água e formula alguns princípios para o uso múltiplo e para a qualidade dos recursos hídricos (São Paulo, 1995).

Mas foi somente com a aprovação da Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997 que o Brasil passou a ter uma política mais sólida para os recursos hídricos em âmbito

nacional, implementando mecanismos que possibilitassem que a água se tornasse disponível na quantidade e na qualidade ideais a toda sociedade brasileira. (ABRH, 1997; Cabral, 1997). De acordo com essa lei, ainda em fase de regulamentação, os recursos hídricos deixam de ser um bem público, passando a apresentar um valor econômico.

Levando-se em consideração o princípio de que a água deve estar disponível onde e quando for necessária, pode-se observar na literatura inúmeros exemplos de escassez que já vem ocorrendo no Brasil, mesmo em regiões privilegiadas com grande potencial hídrico, como os Estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Análise realizada por Ajzenberg e Airolti (1995) salienta que em São Paulo, mais especificamente, na Região Metropolitana da Capital, deverão ocorrer sérias dificuldades ligadas à disponibilidade de água, dentro de um futuro bem próximo, face a sua elevada demanda urbana. Os autores observam que a vazão total dos mananciais que abastecem a grande São Paulo é calculada como sendo, na atualidade, da ordem de $40,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Entretanto, por volta do ano 2000 suas necessidades deverão chegar a $53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e em 2020 atingirão o significativo valor de $68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, obrigando os órgãos competentes a buscar novas fontes e soluções para atender a demanda esperada, ao lado de programas que visem minimizar os despejos de poluentes e o mau uso da água.

Arce (1990) também mostra um exemplo preocupante para o Estado de São Paulo quando estuda a região de Guaíra, onde se tem áreas, que somam aproximadamente 15000 ha, irrigadas com práticas modernas, principalmente com o uso de pivô-central. O autor alerta para as dificuldades encontradas na realização dessa atividade devido a falta de planejamento na implantação desses sistemas, causando escassez relativa de água e fazendo

com que sejam encontrados muitos sistemas ociosos que, em sua maioria, foram adquiridos sem conhecimento prévio da real disponibilidade hídrica da região.

Ainda nessa linha, pode-se citar Leopoldo e Herrera (1997) que, preocupando-se com o aumento na demanda de água potável em Botucatu, analisaram dados de água produzidos e consumidos, índice médio de perdas e crescimento populacional, concluindo que a Estação de Tratamento de Água (ETA) instalada naquela cidade e mantida pela SABESP, terá capacidade de atender sua população até, no máximo, 2007.

Mais uma vez confirmando que a conscientização do povo quanto à diminuição do desperdício é de grande importância, Leopoldo e Herrera (1997) calcularam o percentual de perda de água tratada, utilizando dados de volume total produzido pela ETA-Botucatu e aquele consumido pela população concluindo que essas perdas no ano de 1995 foram de 36,59% e que esse índice se mostrou superior ao verificado na grande São Paulo, para a qual se tem um valor de 32% (Grega Filho e Bombonato, 1993).

Herrera (1996) acrescenta que o volume perdido por Botucatu em 1995 equivale monetariamente à US\$ 6,328,231.00 (seis milhões, trezentos e vinte e oito mil, duzentos e trinta e um dólares), considerando-se as tarifas mínimas vigentes na época.

Esse montante de recursos, poderia ser aplicado na melhoria dos sistemas de distribuição e tratamento de água, bem como na recuperação da qualidade das águas residuárias domésticas e industriais, fazendo com que os recursos hídricos da região fossem preservados, garantindo assim o abastecimento por maior período de tempo e evitando racionamentos.

Cabe observar, ainda, que a própria evolução social, cultural e econômica de uma comunidade tem consequências diretas no aumento de consumo, passando

a exigir maiores quantidades de água em função das alterações de hábitos e de sua qualidade de vida.

Azevedo Netto e Alvarez (1988) observam que a demanda de água tratada exigida por uma população é influenciada pelo seu nível econômico. Nessa publicação, citam que a estimativa de consumo na cidade de São Paulo nos anos 50, era tida como sendo da ordem de $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, enquanto que na atualidade a demanda prevista deve superar o valor de $300 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

Como exemplo pode-se citar também Botucatu, tida como a 29^a cidade do Brasil em qualidade de vida (Anônimo, 1999), onde a demanda por água tratada é de $260 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, conforme Herrera (1996), considerada superior em relação a décadas passadas, bem como superior aos índices apresentados por algumas cidades brasileiras de grande porte. O consumo apresentado pode ser considerado elevado quando comparado a outras cidades de mesmo porte, revelando, contudo, a consequência da qualidade de vida no abastecimento necessário, onde 100% de sua população é atendida.

4.2 Aspectos quantitativos e qualitativos

Mancuso et al. (1992) salientaram que a água, cujo desperdício é prática comum, vem-se tornando um produto cada vez mais raro, enfatizando que, de toda água existente no planeta, apenas 6% ainda se prestam ao consumo humano. Segundo dados por eles citados, a necessidade mundial em 1950 era de $1360 \text{ km}^3.\text{ano}^{-1}$, saltando, de forma assustadora, para $4130 \text{ km}^3.\text{ano}^{-1}$ nos anos 90. O maior responsável por esse consumo é a agricultura, com 69% do total, seguida pela indústria com 23% e pelos domésticos com 8%.

De acordo com os referidos autores, diante do preocupante quadro que se apresenta, organismos internacionais representados pela UNESCO, OMS e PNUMA, mantém um programa de monitoramento da qualidade da água desde 1977, envolvendo 240 rios e 43 lagos de 59 países. Ressaltam que cerca de 10% do total dos cursos de água são considerados poluídos, restringindo, assim, a oferta desse recurso.

As observações de Ayres et al. (1991) mostram que as preocupações e incertezas com relação ao futuro da qualidade e quantidade da água vem se tornando um assunto cada vez mais discutido e destacado junto às autoridades responsáveis, seja em nível mundial, federal, ou mesmo regional, com a definição de normas que buscam a preservação dos recursos disponíveis, tanto pela classe científica que procura soluções técnicas, como por outros setores da sociedade empenhados nos mesmos objetivos.

Toda essa movimentação, com fortes razões de ser, fundamenta-se nos riscos que a própria humanidade poderá enfrentar, caso medidas, sob diferentes aspectos, não venham a ser tomadas em tempo hábil.

Parte desta situação se deve também a falta de uma consciência ambiental, onde muitos e desnecessários desperdícios e degradações do bem em pauta poderiam ser evitados, contribuindo, e muito, para o aumento da disponibilidade. Como exemplo, cita-se os, aproximadamente, 30 mil agricultores irrigantes paulistas que absorvem cerca de 40% de toda água superficial existente no Estado, gastando, em média, de duas a três vezes mais do que seria necessário, revelando um desperdício que somente a cobrança pelo uso da água poderia racionalizar a operação (Anônimo, 1991).

Ainda de acordo com Anônimo (1991), os irrigantes franceses, que já pagam pela quantidade de água usada, deverão pagar, dentro em breve, uma segunda taxa referente a qualidade da água que retorna ao meio após o seu uso.

No Estado de São Paulo, semelhante filosofia foi adotada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, que propõe a cobrança de taxas referentes à quantidade de água utilizada pelo consumidor e pela qualidade da mesma quando devolvida ao meio.

Nesse sentido o Conselho Estadual de Recursos Hídricos já tem elaborada minuta de anteprojeto de lei que dispõe sobre “cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo”, que deverá, em breve, ser promulgada na forma de lei pelo Governo do Estado. Nesta minuta, o Artigo 10 estabelece os critérios gerais de cobrança dos recursos hídricos, considerando o seu uso ou derivação e sua diluição ou assimilação de efluentes, onde serão considerados os parâmetros: sólidos em suspensão, matéria oxidável, compostos inibidores, compostos nitrogenados reduzidos (N orgânico e amoniacal), compostos nitrogenados oxidados (nitritos e nitratos), compostos fosforados, compostos halogenados adsorvidos em carvão ativo, substâncias sólidas e sais solúveis.

ABEAS (1996), como resultado do Encontro Nacional “Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável”, realizado com o objetivo principal de definir diretrizes e estratégias para a implementação do Capítulo 18 da Agenda 21, ressalta que a experiência do Estado de São Paulo se mostra como sendo um processo de reformulação e modernização institucional na gestão de seus recursos hídricos, com fundamentais proposições e aprovações de instrumentos normativos e legais de suporte às ações executivas necessárias ao planejamento e gerenciamento desses recursos.

Ainda de acordo com o apresentado em ABEAS (1996), o gerenciamento de recursos hídricos teve grande impulso no Estado de São Paulo a partir de 1983, quando surgiram as idéias e proposições de criação de Diretorias de Bacias Hidrográficas, efetivadas em 1985, seguindo-se a implantação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 1987 e consequentemente em 1991 com a aprovação do Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos. Como consequência houve a implantação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, que contam com representações dos diferentes setores da comunidade.

Como se observa foram passos importantes objetivando a exploração dos recursos hídricos dentro de princípios racionais, sem que o desenvolvimento sócio-econômico do estado seja comprometido.

Particularmente o Estado de São Paulo é dotado de uma produção hídrica satisfatória, onde, somente em termos de águas superficiais, se dispõe de uma vazão específica de cerca de $12 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (Barth et al., 1987). Apesar dessa relativa abundância, o Estado não dispõe, pelo que se tem notícias, de água suficiente para implantar em sua totalidade o plano de irrigação que foi delineado para a produção agrícola de suas terras.

Além das referências citadas, envolvendo a política de administração de bacias, deve ser incluída aquela apresentada por Lanna (1995) que, em linhas gerais, trata-se de um documento conceitual e metodológico, representando um esforço do IBAMA (Instituto Brasileiro de Agricultura e Meio Ambiente) em subsidiar uma discussão sobre o gerenciamento de Bacias Hidrográficas, no momento em que iniciativas do setor público e privado buscam integrar o gerenciamento dos recursos hídricos ao contexto da gestão ambiental.

Diante dessa realidade, envolvendo possíveis comprometimentos de suprimentos de água em quantidades e qualidades adequadas às necessidades da população, ao lado de medidas previstas por órgãos governamentais elaboradas com intuito de superar essa situação, torna-se claro que os usuários de água terão que, obrigatoriamente, se enquadrar nas normas gerais de seu uso e manejo.

A classe científica que atua nessa linha de estudo, tem participado efetivamente, desenvolvendo ou oferecendo as mais diferentes alternativas possíveis de serem aplicadas no processo de preservação dos recursos hídricos, não só para situações específicas, como também em sentido mais amplo. Conforme pode ser encontrado em Conte (1992 e 1999) e Amorim (1999), entre outros, tem-se uma série de medidas passíveis de serem implantadas visando-se essa preservação.

Acredita-se que, para as condições de Brasil, ou mesmo para o próprio Estado de São Paulo, dotados de significativos recursos naturais quando comparados a outras regiões do globo, a maior preocupação deve estar sempre voltada à preservação da qualidade desses recursos.

4.3 Importância da recuperação das águas servidas

O constante aumento da demanda por água, como já observado, faz com que se preveja para o futuro, sérias dificuldades no seu adequado fornecimento sem que ocorra um comprometimento do desenvolvimento sócio econômico da humanidade. Sendo assim, a prevista crise mundial da água, se mostra como sendo o maior obstáculo a ser superado pelo Homem no próximo milênio.

A Década Internacional da Água Potável e Saneamento - UNESCO (de 1981 a 1991) concluiu-se com déficits preocupantes: 1 bilhão de pessoas sem abastecimento seguro e quase 1/3 da população sem saneamento adequado (Capozoli, 1997). Na conclusão dessa década, a OMS estimava em 4 milhões o número de crianças mortas anualmente por doenças transmitidas por água de má qualidade.

Estatísticas apontam que, praticamente, 50% de toda água disponível já se encontram comprometidos e que os 50% restantes serão insuficientes para atender ao crescimento da demanda sem diretas consequências no desenvolvimento da sociedade (Postel, Daily e Ehrlich, 1996).

Portanto a recuperação das águas servidas de qualquer natureza se faz necessária e urgente, pois quanto melhor for a qualidade da água devolvida ao meio, menor serão os gastos com tratamento e também o tempo de permanência nas estações, aumentando a disponibilidade para os consumidores.

4.4 Sistemas de tratamento

As opções para tratamento ou recuperação de águas servidas de origem doméstica, agrícola ou industrial envolvem inúmeras e diferentes alternativas, muitas delas onerosas e complexas e outras de baixos custos e simples em sua estrutura, conforme pode ser visto em METCALF & EDDY INC. (1979) e Gasi (1988), entre outros.

A adoção de um dado sistema, evidentemente, depende de uma série de fatores que vão desde a própria natureza do efluente até limitações impostas pelo custo.

Face a ampla diversidade dos efluentes gerados, onde cada unidade industrial possui características próprias, a demanda de estudos para o levantamento das particularidades existentes se faz imprescindível. Ensaio e análises de laboratório e instalação de plantas piloto garantem a escolha do método de tratamento mais apropriado a cada caso.

Ao lado dos métodos convencionais aplicados no controle da carga poluidora, tais como lagoas de decantação ou mesmo de estabilização (Berthet, 1982; Shimada et al., 1987; Kawai et al., 1990), filtros e mantas (Matsumoto, 1987; Paterniani, 1991), biodigestores (Vieira, 1984; Benicasa et al., 1986; Toledo, 1996), disposição sobre o solo (Braile, 1979; Rocco e Breda, 1996; Paganini, 1997), deve-se salientar também o papel depurador que as plantas consideradas macrófitas podem desempenhar nesse sentido.

Paganini (1997) trabalhando por 12 anos no município de Populina-SP, com 3000 habitantes, em estação de tratamento de esgoto da SABESP, utilizou disposição de esgotos domésticos no solo pelo sistema de escoamento à superfície cultivada com gramínea (*Brachiaria humedicala*). Analisou o sistema quanto aos aspectos sanitários, operacionais e de manutenção, concluindo que a disposição de esgotos no solo é uma boa alternativa para reduzir investimentos e proteger o meio ambiente quando bem dimensionada. O autor obteve como resultados, reduções de DBO maiores que 90%, chegando próximo a 100% no período de maior eficiência. Comportamento semelhante foi observado para os sólidos em suspensão, além da elevação do nível de Oxigênio Dissolvido e redução de 70% dos níveis de Nitrogênio no mesmo período, salientando que não houve alteração ou prejuízo das qualidades do solo e do lençol freático.

O uso de plantas aquáticas vasculares na depuração de águas servidas de origem doméstica e industrial vem sendo estudado desde 1955, quando Seidel, na

Alemanha, e Volverton, nos Estados Unidos, apresentaram os primeiros resultados decorrentes de sua aplicação em sistemas de tratamento de água (Blake, 1982). No trabalho desenvolvido por esse autor, observa-se que plantas do gênero *Spircus*, *Typha* e *Phalaris* apresentam propriedades depuradoras úteis no controle de carga poluidora de águas residuárias. Observou ainda que, principalmente, as plantas do gênero *Spircus* são eficientes na depuração de águas com alto conteúdo de matéria orgânica e pouco degradáveis.

Em Botucatu-SP, através do monitoramento de um sistema de recuperação de efluentes domésticos, utilizando-se da Taboa (*Typha latifolia*), Junco (*Juncus sellovianus*) e Lírio do Brejo (*Hidychium coronarium*), obteve-se resultados promissores, conforme relatam Conte et al. (1992), observando que as plantas empregadas atuaram de modo eficiente na retenção de espécies químicas dissolvidas (fósforo e potássio), além de reduzir, significativamente, as taxas de DBO, DQO e material Sólido em Suspensão. Observações similares foram relatadas por Reuter et al. (1992), Rostom (1993) e Zirschky (1986), ressaltando o uso de plantas como interessante alternativa no controle da carga poluidora de água.

Conte et al. (1998) estudaram a eficiência de plantas de Taboa implantadas sobre leito filtrante (composto por camadas de areia grossa, solo e casca de arroz) no tratamento do esgoto doméstico gerado por uma pequena comunidade rural, alcançando resultados significativos, como por exemplo, redução de 92% da carga poluidora originária da DQO; 77% e 71% para Turbidez e Sólidos em Suspensão respectivamente e uma atuação altamente considerável no controle de Coliformes totais e fecais, com reduções superiores a 99,9%.

Utilizando uma caixa com plantas de Aguapé (*Nymphaea speciosa*), para o tratamento final de efluente doméstico previamente decantado, Guimarães et al. (1999) concluíram que o sistema oferece uma melhoria na qualidade do esgoto que pode ser considerada razoável, onde as variáveis DQO, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Sedimentáveis e Coliformes Fecais, podem alcançar reduções de 61%, 78%, 90% e 99% respectivamente. Além disso propõem uma avaliação da qualidade do material retido nos decantadores, para fins de utilização, como fertilizante orgânico.

Outra pesquisa que teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes plantas na recuperação da qualidade de águas servidas de uma comunidade rural, foi desenvolvida por Guimarães e Conte (1997), quando estudaram os efeitos individuais de Taboa, Junco, Lírio do Brejo e Inhâme (*Colocasia antiquorum*), implantados sobre leitos de pedra britada como substrato. Os autores concluíram que todas as plantas apresentaram eficiência no tratamento, mas o Junco teve melhor comportamento, com reduções da ordem de 70% em média nos valores de Turbidez, Sólidos em Suspensão, Coliformes Totais e DQO.

Leopoldo et al. (1999) investigaram os efeitos depuradores de plantas de Junco e capim Coast Cross, colocadas sobre leito filtrante composto por solo arenoso (50%) e casca de arroz (50%), no tratamento de esgoto doméstico, previamente decantado e submetido a pré-filtragem em leito de pedra britada nº 1. Os autores apresentaram resultados parciais satisfatórios, de reduções de carga poluidora oriundos de variáveis como DQO, Detergentes, Turbidez e Sólidos Totais. Também fizeram uma comparação com uma testemunha composta apenas pelo substrato, para avaliar os efeitos apenas das plantas.

Além desses métodos, cabe relatar aquele desenvolvido pelo CIRAD, França, denominado “TRANSFILTRE” que, em linhas gerais, se constitui de um filtro

anaeróbio horizontal com suporte lignocelulósico sequencialmente renovável (Farinet e Forest, 1994; Farinet, 1995). Um primeiro protótipo de 2,26 m³ foi testado pelo CIRAD, utilizando-se águas urbanas servidas como efluente e a palha de trigo como suporte. Os resultados obtidos através dessa configuração mostraram uma redução de 88% em material em suspensão e 70% em DQO (Farinet e Forest, 1994). O mesmo princípio, com resultados significativos, foi também utilizado no tratamento de efluentes originários de agroindústrias de mandioca e café (Farinet, 1995).

Também são utilizados sistemas de peneiramento no tratamento de efluentes agro-industriais. Essa prática emprega peneiras planas vibratórias e circulares rotativas e é largamente utilizada no pré-tratamento em usinas de despolpa de café e granjas de criação de suínos no estado de Minas Gerais. A eficiência dessas peneiras depende de algumas características do efluente (quantidade e tamanho do material sólido presente) e outro fator importante diz respeito às características próprias das peneiras (diâmetro dos orifícios, área, dimensões e ângulo de inclinação). Testes realizados por Hegg et al. (1981) compararam peneiras rotativas e planas vibratórias, concluindo que as últimas apresentam eficiência maior que podem atingir até 60% na separação de sólidos.

Cabe ressaltar que a literatura consultada é pobre em trabalhos que se referem a tratamento de efluentes por sistemas de peneiramento.

Assim, diante do que se apresenta, observa-se uma preocupação cada vez maior com a preservação ambiental, sobretudo no que se refere aos recursos hídricos, que, associado a um melhor manejo e uso, certamente, evitará sérios riscos de escassez para um futuro não muito distante.

4.5 Caracterização da indústria e do atual sistema de disposição de efluente

A Duratex S/A - Fábrica Paula Souza, instalada no município de Botucatu-SP, atua no ramo de processamento de madeira, produzindo chapas duras de fibra de madeira (“*hardboard*”), através do processo úmido.

Basicamente, o processo de fabricação dessas chapas inclui o picamento das toras em cavacos, que seguem para desfibradores, onde são transformados em fibras de madeira. As fibras geradas vão para tanques onde são acrescentados aditivos e depois para as formadoras de “colchões”. Até aqui, grandes quantidades de água são utilizadas.

Começa, então, a geração do efluente com a retirada de água nas formadoras, culminando na atuação das prensas a altas temperaturas, que fazem a retirada do excesso de água e conferem características desejáveis às chapas.

A maior quantidade de efluente é gerada nas prensas e, além de muita água, são descartadas grandes quantidades de fibras de madeira.

O efluente, então, segue por tubulações até a estação de tratamento de esgotos, onde é misturado com o esgoto gerado na cozinha e sanitários da indústria e em seguida é bombeado para os campos de irrigação.

De acordo com testes realizados, efluentes dessa natureza se mostram altamente poluentes e são caracterizados por altos valores de DQO e de material Sólido em Suspensão, representados, na sua maioria, por fibras de madeira.

As diversas indústrias que produzem esse tipo de chapa fazem o tratamento de seus resíduos de diferentes formas. A título de ilustração pode-se citar a Duratex de Jundiaí-SP que por estar localizada no centro daquela cidade, ficou impossibilitada de

dispor de uma área para tratamento de seus efluentes e, por isso, despeja-os em um emissário juntamente com efluentes de outras indústrias da cidade que seguem para uma estação de tratamento mantida pelas empresas usuárias ¹. Outro método de tratamento que deve ser citado é o utilizado pela Eucatex de Salto-SP ², onde o efluente gerado sofre uma decantação inicial para a separação do lodo; esse lodo segue por um caminho e a parte líquida é bombeada para torre de resfriamento, passando depois pela correção de pH e na sequência receberá o tratamento mais importante em reator anaeróbico; por fim é submetido a mais uma decantação e despejado no rio.

Segundo autores citados por Paganini (1997) existem vários processos de aplicação do esgoto no solo para sua depuração, dentre eles a irrigação. Nesse processo, a depuração se dá a partir do momento em que o líquido infiltra e percola através do solo. Para eles, a irrigação com efluentes pode ser definida como: “A descarga controlada dos mesmos sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento de plantas”.

Assim os despejos devem ser aplicados sempre em solos cobertos com vegetação. Isso faz com que haja um benefício para as plantas e também para a qualidade da água.

O uso da irrigação como técnica de tratamento de esgotos doméstico e industriais foi desenvolvido de várias maneiras, e nessa prática os efluentes são submetidos a fenômenos diferentes como relata Paganini (1997):

- infiltração até atingir o lençol subterrâneo – maior parcela.
- incorporação pela vegetação e parcial lançamento à atmosfera - transpiração e evapotranspiração.
- evaporação direta para a atmosfera.

¹ Informação pessoal de funcionário da referida empresa.

² Informação fornecida pela empresa.

Com bases em estudos de vários técnicos, a Fábrica Paula Sousa, em particular, lança atualmente seus efluentes em solos de duas propriedades nas proximidades de sua unidade industrial. A área ocupada por esse campo de disposição de efluentes é relativamente grande (240 ha), utilizando sistema de irrigação por canhões auto-propelidos (Rocco e Breda, 1996).

Paganini (1997) relata que, por dependerem basicamente da infiltração, os métodos de tratamento de efluentes via irrigação devem ser aplicados, preferencialmente, em solos com camada superficial permeável e espessa acima do lençol. Deve-se atentar também para as taxas de aplicação e frequência de regas, que precisam ser planejadas de modo a possibilitar um ciclo ideal para que o solo atinja condições ótimas de umidade e aeração.

Essa afirmação se torna mais importante quando se consideram os solos dos campos de disposição do efluente estudado, que sofrem rápida colmatção em razão da presença da grande quantidade de sólidos, diminuindo a permeabilidade e exigindo que se façam, além dos planejamentos de rega e taxa de aplicação, constantes operações de mecanização para viabilizar a infiltração do efluente.

O histórico apresentado por Rocco e Breda (1996) mostrou que a Unidade Paula Souza despejava todo seu efluente nas águas de um afluente do rio Pardo quando do início das atividades de sua primeira linha de produção.

Esse rio, fazendo parte da Bacia do Médio Paranapanema (Proposta de Divisão Hidrográfica para o Plano Estadual - 1ª Etapa) é de classe 2, com vazão mínima da ordem de 1000 L.s^{-1} (São Paulo, 1994)

Com a implantação de uma segunda linha de produção, a CETESB passou a exigir o controle do lançamento dos efluentes gerados, levando a empresa a se definir

pelo atual sistema, o qual, consiste na disposição do efluente sobre o solo em uma área dotada de cobertura vegetal, utilizando-se de um sistema de irrigação por aspersão com canhões auto-propelidos.

Desde então, segundo a empresa, não houve mais despejo desses efluentes diretamente, no curso de água do rio Pardo, salientando-se que tal sistema vem sendo operado desde o ano de 1978.

O bombeamento é feito 21 h.dia^{-1} , parando apenas no horário de “pico” de consumo de energia elétrica (18 às 21 h). A vazão média de efluente, embora não seja medida de maneira segura, é superior a $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, quantidade que se mostra acima do máximo previsto para o sistema.

Os campos de irrigação, considerados “corpos receptores de efluentes” possuem seus solos plantados com gramíneas do gênero *Cynodon* (“Coast cross”, Estrela da África e Estrela de Porto Rico), num total de 240 ha.

Segundo Rocco e Breda (1996), as vantagens que esse sistema apresenta se referem ao baixo custo operacional, descarga considerada “zero” nos cursos de água e a possível utilização da biomassa produzida nos campos, para fins energéticos. Como desvantagens tem-se a utilização de uma área significativa de 240 ha, destinada ao despejo, que poderia ser utilizada para a produção de matéria prima, de fácil escoamento em razão de sua localização próxima da fábrica.

Além desse aspecto, utilizando-se sempre da mesma área para lançamento dos efluentes, é de se esperar, com o tempo, algumas consequências diretas ou indiretas ao ambiente que poderiam envolver a poluição do lençol freático e o escoamento superficial direto dos efluentes para os cursos de água, devido a formação de uma crosta de

polpa de madeira na superfície do solo (colmatação), que dificulta ou impede a infiltração. Esses fatos já têm sido observados, principalmente por ocasião dos períodos úmidos, quando se verificam transbordamentos dos cordões de controle. Há que se considerar também os gastos com pessoal, manutenção de equipamentos, tubulações, terraços, estradas, corte e transporte de biomassa, entre outros.

Contudo, observações pessoais “in loco” demonstram um acúmulo significativo de efluentes junto aos terraços, que possivelmente deve ser resultado de um escoamento superficial direto aliado às já citadas modificações nas características de infiltração do solo. Entre outros problemas, tal acúmulo pode se tornar criatório de insetos transmissores de doenças além de diminuir a área útil para o desenvolvimento das gramíneas ali cultivadas.

Tendo como base um estudo inicial realizado por pesquisadores franceses, acreditava-se que a investigação a ser desenvolvida diante da metodologia proposta por este trabalho, poderia produzir resultados que, em termos práticos, permitiriam a definição de um processo de tratamento diferente do atual, mais eficiente e com reflexos positivos diretos no uso e manejo do solo e água para as condições analisadas, e que poderia ser aplicado na Unidade Paula Souza ou outra similar.

5 . MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Histórico da proposta de estudo

Dentro do Acordo CAPES/COFECUB, teve-se a aprovação do projeto 149/94 que estabelecia cooperação científica entre a FCA (Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Botucatu) e o CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – Montpellier – França).

Na proposta desse projeto, um dos aspectos envolvidos refere-se ao estudo e desenvolvimento de métodos para o tratamento do efluente de indústrias de chapa dura de fibra de madeira (*hardboard*), tendo como base amostras do efluente da DURATEX S/A – Fábrica Paula Sousa – Botucatu.

Através de vários ensaios de filtração realizados no Laboratório de Recursos Hídricos, pesquisadores franceses do CIRAD concluíram que, em função da presença de fibras suficientemente longas no efluente, um método aparentemente simples de peneiramento rotativo do tipo industrial, com malha da ordem de 1 mm seria suficiente para um tratamento primário eficaz.

Tal afirmação foi feita porque se acreditava que grande parte desses sólidos seria facilmente eliminada por retenção nas peneiras, reduzindo consideravelmente a carga poluente do despejo, redução essa que, segundo pesquisador do referido centro, seria de valores percentuais significativos tanto para o material Sólido em Suspensão, bem como para a DQO.

O problema foi, então, levado para a França, e lá fez-se uma consulta à Empresa SOCIÉTÉ MATÉRIEL PERRIER, que elaborou um orçamento da ordem de US\$ 40,000.00 (quarenta mil dólares) para a construção das peneiras requeridas para suprir as necessidades da empresa.

Na Figura 1, pode-se observar o desenho da Peneira Rotativa BFRD que foi recomendado pela empresa francesa.

Para adotar de imediato essa prática, a empresa precisaria fazer um investimento relativamente alto e, além disso, haviam algumas dúvidas e questionamentos quanto à real viabilidade e eficiência do método.

Por serem essas dúvidas procedentes, optou-se pela instalação de um projeto piloto na intenção de investigar qual seria, de fato, a utilidade dessa metodologia.

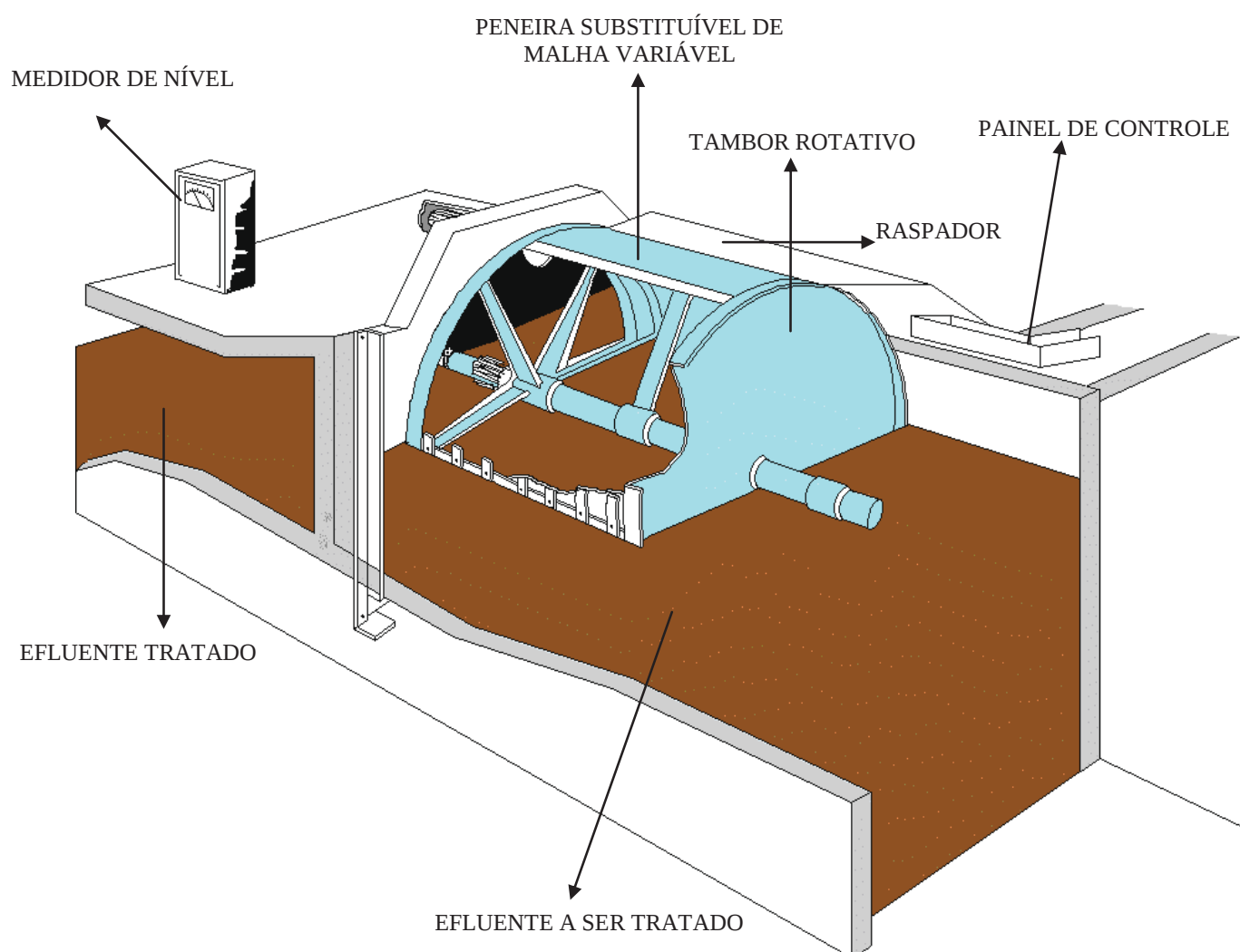


Figura 1 - Peneira rotativa do tipo BFRD, produzido pela Société Matériel Perrier, França.
(sem escala)

5.2 Visão geral do trabalho

De maneira detalhada e de fácil compreensão, pode-se observar no esquema da Figura 2, um resumo das atividades planejadas e em seguida serão descritas as fases do projeto e o que se pretendeu realizar quando da proposta do trabalho.

A proposta do trabalho fundamentou-se basicamente na melhoria da qualidade e na reutilização das águas residuárias de indústria de chapa dura de fibra de madeira, utilizando-se um método aparentemente mais viável do ponto de vista econômico e ambiental, pois as empresas que exercem tal atividade utilizam diferentes métodos para o tratamento de seus efluentes, como já foi citado anteriormente.

Tais métodos, em sua maioria, necessitam de altos investimentos em estruturas, produtos e em pessoal especializado. Já a fábrica Paula Souza, que forneceu o efluente para o estudo, desenvolveu e utiliza um método de disposição de efluentes via irrigação em campos plantados com gramíneas.

Do ponto de vista econômico, a maior viabilidade do sistema proposto por esse trabalho estaria no fato de se permitir o reaproveitamento da água oriunda do tratamento, bem como, as fibras de madeira retidas nas peneiras, para fins energéticos (abastecimento das caldeiras) e, principalmente na liberação de uma área considerável, em local nobre, nas proximidades da indústria para o plantio de florestas ou outro empreendimento.

Sob o ponto de vista ambiental a colmatação dos solos seria eliminada, bem como o escoamento do efluente para os cursos de água, sobretudo no período chuvoso, além de cessarem os constantes riscos de contaminação do lençol freático.

Portanto, esse trabalho ficou restrito aos ensaios de remoção mecânica do material sólido presente no efluente (principalmente polpa de madeira) com a utilização de peneiras rotativas buscando a redução da DQO, bem como, diminuir parte da carga poluidora que é responsável pela colmatção do solo.

Dessa forma pesquisou-se a influência das diversas combinações de malha x rotação x vazão, na melhoria da qualidade do efluente.

Mais adiante serão descritas com maiores detalhes todas as etapas que, de maneira resumida e ilustrativa são apresentadas no esquema da Figura 2.

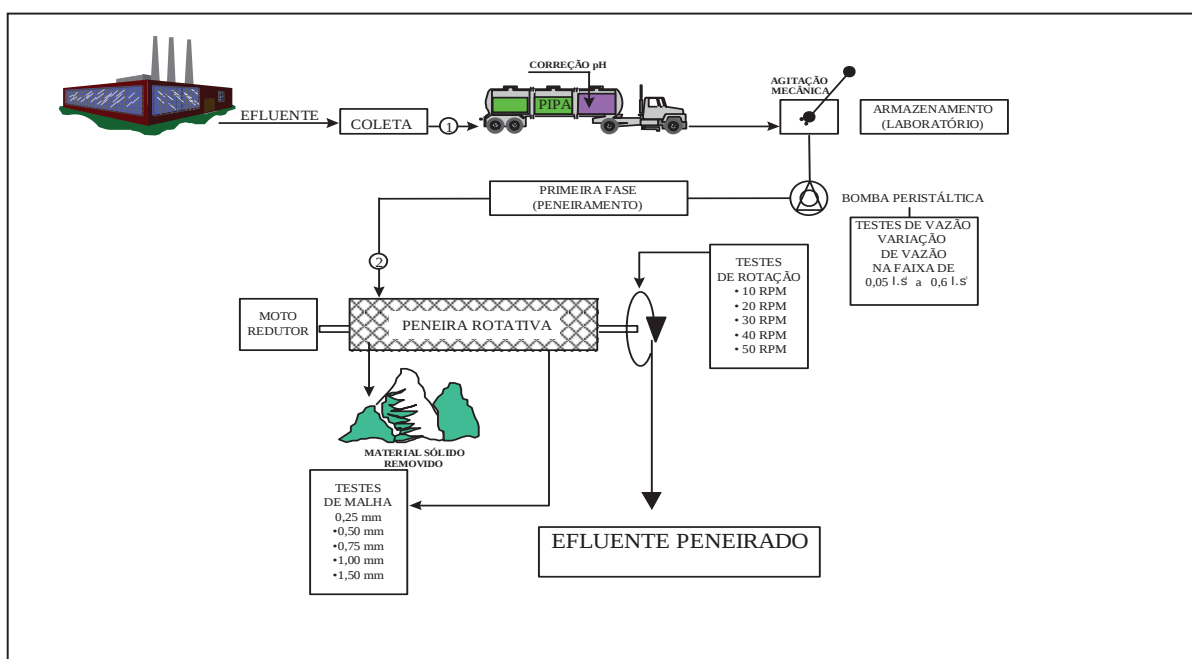


Figura 2 - Esquema dos ensaios com efluentes de indústria de chapa dura de fibra de madeira.

As análises foram realizadas em amostras coletadas nos pontos **1** (ENTRADA DE EFLUENTE BRUTO - **EN**) e **2** (APÓS PENEIRAMENTO - **SA**), e as variáveis observadas para cada combinação estão listadas a seguir:

- Sólidos Totais (ST)
- Sólidos Totais Fixos (STF)
- Sólidos Totais Voláteis (STV)
- pH
- Turbidez
- Condutividade Elétrica (CE)
- Demanda Química de Oxigênio (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)
- Nitrogênio (N)
- Fósforo (P)
- Potássio (K)
- Cobre (Cu)
- Manganês (Mn)
- Ferro (Fe)

5.3 Caracterização do efluente

De acordo com informação da empresa, referente a análises de amostras de efluentes tomadas no deságue das prensas e na saída do campo de irrigação denominado Santa Luzia, foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 1.

Ainda, conforme laudo da empresa não foram detectados os seguintes elementos nas referidas amostras: Arsênio (As), Bário (Ba), Boro (B), Cádmio (Cd), Chumbo

(Pb), Cianeto (CN), Cobre (Cu), Cromo VI (Cr), Cromo total (Cr), Estanho (Sn), Fenóis (C₆H₅OH), Mercúrio (Hg), Prata (Ag), Níquel (Ni) e Selênio (Se).

Quadro 1 - Resultados das análises de efluentes representativos do deságue das prensas e chegada ao campo Santa Luzia.

VARIÁVEL ANALISADA	Deságue Prensa	Saída do Campo Sta. Luzia
Ferro Solúvel (mg.L ⁻¹)	14,30	4,90
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,36	1,85
Manganês Solúvel (mg.L ⁻¹)	3,78	2,71
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	26,00	156,00
pH – laboratório	3,63	3,20
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,15	0,87
DQO (mg.L ⁻¹)	6,86 x 10 ³	11,40 x 10 ³
DBO (mg.L ⁻¹)	5,96 x 10 ³	4,24 x 10 ³
Temperatura do efluente (°C)	80,20	37,00

Análises realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos da FCA apresentaram um valor médio em torno de 6000 mg.L⁻¹ de matéria seca total no efluente originário do deságue da prensa, o que representa uma descarga de 1,8 t de matéria seca por hora ou 43,2 t.dia⁻¹, considerando a produção de 300 m³. h⁻¹ de efluente poluente.

5.4 Local de desenvolvimento dos ensaios

Os ensaios foram desenvolvidos com efluentes originários da indústria e realizados em área do Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural, localizado na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP.

Os efluentes foram coletados junto a indústria, transportados até o local dos ensaios em caminhão pipa e armazenados em reservatórios, representados por caixas

de água de cimento amianto, com capacidade de 1000 L, dispostas lado a lado e interligadas por tubo de PVC de 2”, isoladas por registro de esfera. Foram utilizadas 4 unidades, totalizando um armazenamento de 4000 L, que representava a capacidade de transporte do caminhão pipa disponível. A Figura 9 apresenta de maneira ilustrativa a disposição desses reservatórios no local dos ensaios.

Como esse efluente permanecia estático nas caixas, havia uma tendência a separação do líquido e dos sólidos e, por isso foi desenvolvido um agitador que permanecia em funcionamento durante a realização dos ensaios.

5.5 Correção do pH

Por se tratar de um material com elevada acidez, adicionou-se ao efluente 8,0 mL.L⁻¹ de solução 1,0 N de Hidróxido de Potássio – K(OH) –, objetivando elevar o pH até uma faixa de 6,5 - 7,0.

Antes de se fazer opção pelo uso do K(OH), foram feitos testes comparativos com a cal hidratada - Ca(OH)₂ –, mas o primeiro se comportou melhor devido a sua melhor solubilidade em água, o que facilitava o preparo da solução nos dias de coleta e também a mistura no efluente, apesar de apresentar custo relativo mais elevado.

A correção do pH foi feita colocando-se diretamente a solução de K(OH) no tanque do caminhão pipa, no momento em que era carregado com o efluente. A mistura se dava pela agitação sofrida durante o percurso.

5.6 Peneira rotativa

O processo de peneiramento do efluente visando a remoção de fibras em suspensão, foi feito por peneiras rotativas, à semelhança daquela já mostrada na Figura 1 com dimensões e modificações definidas de acordo com as condições previstas para os ensaios.

O sistema da Figura 1 é produzido em escala industrial pela empresa Soci   Matériel Perrier, destinado, conforme catálogo, para vazões de 0,1 a 7,0 m³.s⁻¹ e filtra  o de partículas de 0,5 a 10 mm.

Na Figura 3 tem-se, em esquema, vistas de frente e de lado do sistema de peneiramento, além das respectivas dimensões adotadas pela empresa fabricante.

Para fins de dimensionamento das peneiras rotativas a serem utilizadas nos ensaios e levando-se em considera  o a faixa de vazão a ser testada (Figura 2), foram tomadas como base as dimensões e respectivas proporções observadas na Figura 3.

O equipamento de peneiramento construído para o estudo possui um mecanismo de peneiras rotativas substituíveis, com dimensões 0,24 m de comprimento por 0,18 m de diâmetro. Totalizando uma superfície filtrante de 0,1357 m², para cada malha de peneira a ser combinada no experimento. A substitui  o das peneiras para os ensaios era feita facilmente, trocando o tambor rotativo com a remo  o de apenas um parafuso. No equipamento estão acoplados alguns componentes que são necessários para seu funcionamento, tais como, um moto redutor, bomba alimentadora, painel de comandos e vários outros componentes, de acordo com o modelo francês recomendado pelos pesquisadores do CIRAD.

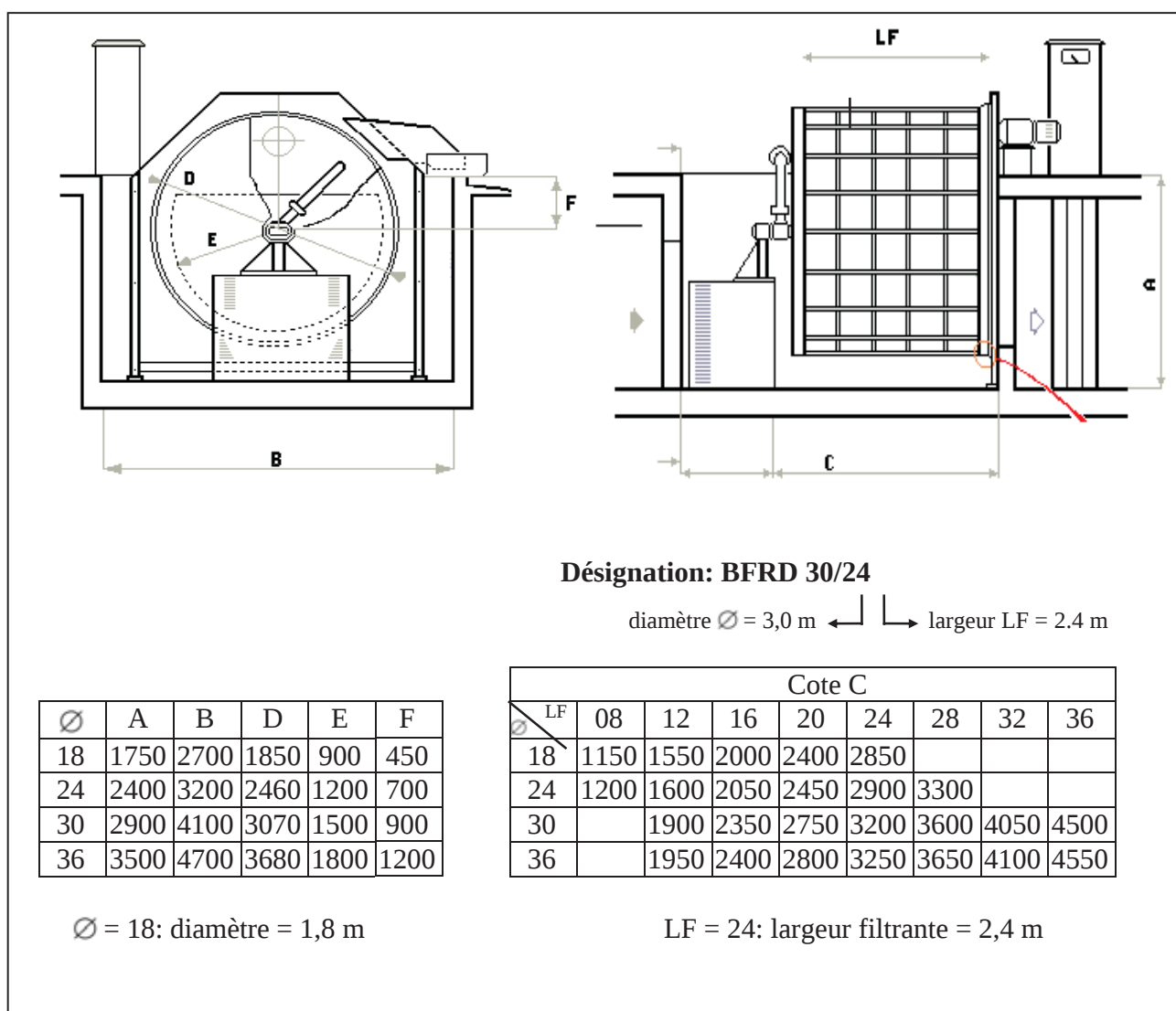


Figura 3 – Esquema das vistas frontal e lateral da peneira rotativa do tipo BFRD e respectivas dimensões.

O desenvolvimento e a construção do referido equipamento foram realizados pelo CEMEQ – UNESP (Centro de Manutenção de Equipamentos da UNESP – Câmpus de Botucatu), desde o projeto, mão de obra até o fornecimento de material. Nas Figuras 4, 5 e 6 tem-se diferentes vistas do equipamento desenvolvido e testado na presente pesquisa.

O movimento rotativo das peneiras foi proporcionado pelo motor-reductor ASTEN modelo CD-28410, que é mostrado com mais detalhe da Figura 6, acoplado ao conjunto, o qual permitiu variar as rotações na faixa de teste, envolvendo os valores de 13, 20, 33, 41 e 53 rpm, pelo simples acionamento do acelerador no painel de comandos.

O painel de comandos (Figura 7) foi utilizado para abrigar e proteger os instrumentos de programação da aceleração e, caso fosse necessário os de limpeza.

As variações de vazão de entrada e de rotação da peneira foram combinadas com variações das malhas das peneiras, conforme mostrou a Figura 2. O número de designação das peneiras, bem como as respectivas dimensões das malhas testadas estão apresentadas a seguir, sendo que as mesmas podem ser vistas com mais detalhes na Figura 8.

- peneira 1 (1,50 mm)
- peneira 2 (1,00 mm)
- peneira 3 (0,75 mm)
- peneira 4 (0,50 mm)
- peneira 5 (0,25 mm)

Como se pode observar, havia entre as malhas de peneiras testadas, dimensões superiores e inferiores a 1,0 mm, que foi a recomendada e considerada eficaz na remoção dos sólidos por Farinet (1996), no trabalho apresentado como uma das propostas do projeto 149/94 do Acordo CAPES/COFECUB.

O controle da colmatção da peneira, ou seja, a limpeza e desentupimento dos orifícios, seria feito ao se perceber diminuições consideráveis nas medições da vazão de saída, por meio do efluente já peneirado injetado no contra fluxo, à alta pressão e baixa vazão. Essa operação poderia ser acionada manualmente ou por um temporizador, e o intervalo de tempo entre um acionamento e outro seria definido pelo tempo de colmatção de cada ensaio. O tempo que permaneceria acionado seria dependente do tempo

de rotação da peneira. Porém, esse processo não foi necessário, pois os entupimentos que presumivelmente causariam a colmatação não aconteceram.

As fibras de madeira que se aderiam às paredes externas da peneira, eram retiradas do sistema por um coletor de resíduos (raspador), similar ao mostrado na Figura 1 e que pode ser visto na com mais detalhes na Figura 6. De maneira bem simples, este raspador constou de uma chapa metálica que raspava a peneira, retirando o excesso de fibras presentes na superfície das mesmas.

A alimentação do sistema se daria através de uma bomba peristáltica que teria a função de manter uma vazão desejada constante. Além disso poder-se-ia variar essa vazão em função da variação de sua rotação. Porém, devido a problemas com a importação da referida bomba, envolvendo um acentuado atraso na sua entrega por parte dos importadores optou-se por modificar a forma de obter uma vazão relativamente constante de entrada de efluente no sistema.

O método utilizado foi mais simples, contando com uma caixa de água de 50 L que permanecia sempre cheia, proporcionando assim uma coluna de água constante. As diferentes vazões, porém, eram reguladas pela abertura do registro de entrada no sistema, daí decorrendo, a opção por se trabalhar com a vazão média para cada ponto e não com um valor constante.



Figura 4 - Vista frontal do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu.



Figura 5 - Vista lateral do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu.



Figura 6 - Vista interna do equipamento construído pelo CEMEQ/UNESP – Botucatu, onde se pode observar a peneira rotativa e, no detalhe em azul, o moto-redutor.



Figura 7 - Detalhe do painel eletrônico de comandos.



Figura 8 - Peneiras de diferentes malhas utilizadas nos ensaios.

A Figura 9 apresenta um croqui, sem escala e sem dimensões, do sistema de tratamento desenvolvido com o objetivo de realizar os ensaios propostos, definido em função da não utilização da bomba peristáltica.

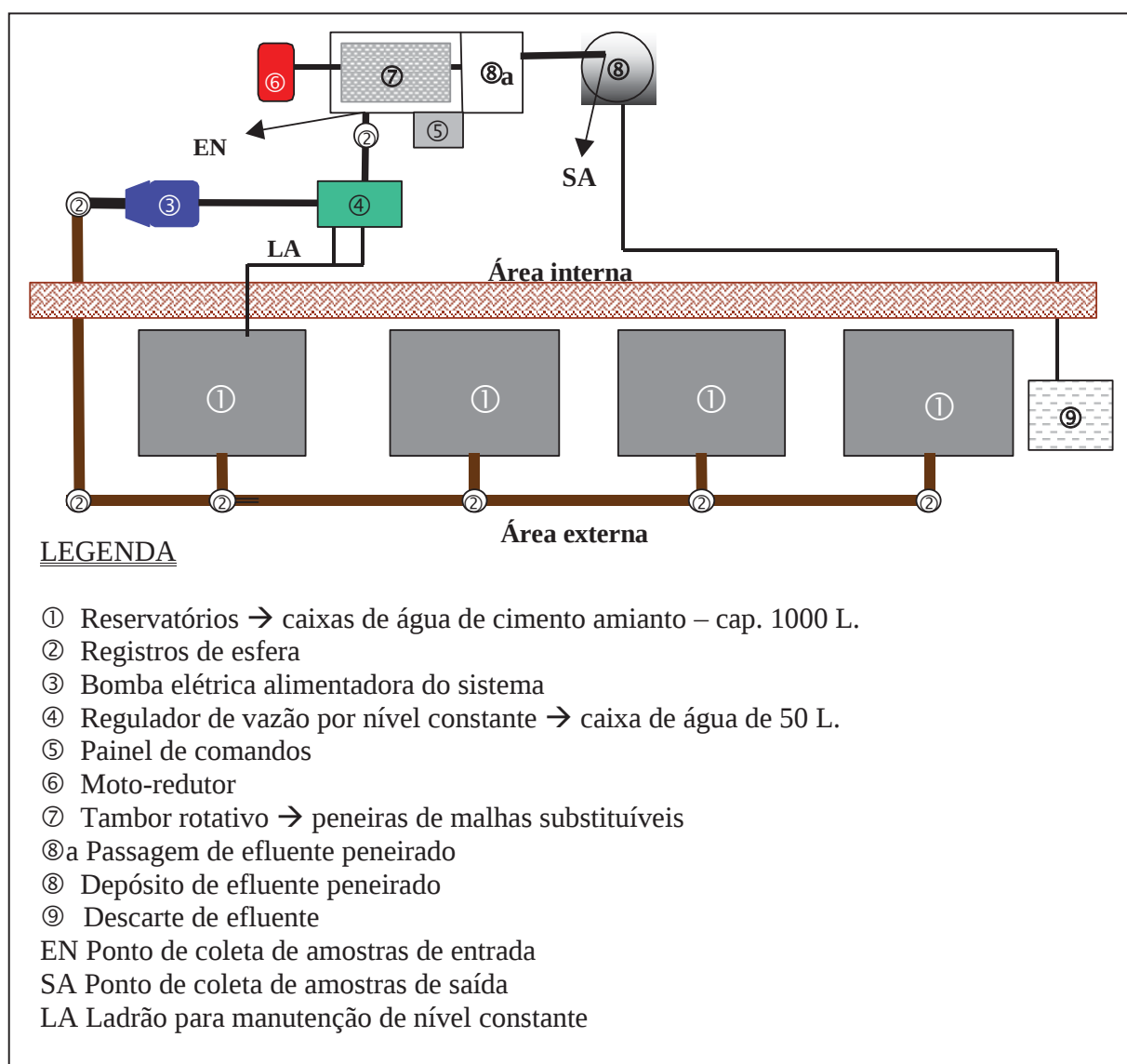


Figura 9 – Vista geral do sistema proposto para tratamento de efluente em planta baixa (sem escala e sem dimensões).

5.7 Rotação da peneira

Os testes de determinação da rotação da peneira para cada ponto de aceleração no painel de comandos do equipamento utilizado no trabalho, foram realizados pelos funcionários do CEMEQ/UNESP, quando concluíram a construção do mesmo.

Estão listados a seguir, apenas os pontos de aceleração do moto-reductor que foram utilizados nos ensaios para todas as peneiras, já que o sistema de aceleração possui pontos que variam de 0 a 10.

- ponto 2 (13rpm)
- ponto 3 (20rpm)
- ponto 5 (33rpm)
- ponto 6 (41rpm)
- ponto 8 (53rpm)

5.8 Discriminação das Amostras

Para facilitar a separação das amostras, convencionou-se designar por **EN** as amostras da entrada, ou seja, aquelas compostas por efluente coletado antes de ser submetido ao peneiramento. No total tem-se 25 amostras de entrada, sendo 5 para cada ensaio. As amostras da saída, ou seja, aquelas coletadas após o peneiramento foram designadas por **SA** e totalizam 125, sendo 5 para cada entrada e portanto 25 para cada ensaio. Pode-se entender melhor essas nomenclaturas observando o Quadro 2.

Quadro 2 - Separação das amostras de entrada e de saída em função dos ensaios e peneiras correspondentes.

ENSAIO	PENEIRA	Entrada	Saída
1	1	EN - 1*	SA-1*, SA-2, SA-3*, SA-4, AS-5*
		EN – 2	SA-6, SA-7, SA-8, SA-9, SA-10
		EN – 3	SA-11, SA-12, SA-13, SA-14, SA-15
		EN – 4	SA-16, SA-17, SA-18, SA-19, SA-20
		EN – 5	SA-21*, SA-22, SA-23*, SA-24, SA-25*
2	2	EN - 6*	SA-26*, SA-27, SA-28*, SA-29, SA-30*
		EN – 7	SA-31, SA-32, SA-33, SA-34, SA-35
		EN – 8	SA-36, SA-37, SA-38, SA-39, SA-40
		EN – 9	SA-41, SA-42, SA-43, SA-44, SA-45
		EN – 10	SA-46*, SA-47, SA-48*, SA-49, SA-50*
3	3	EN - 11*	SA-51*, SA-52, SA-53*, SA-54, SA-55*
		EN – 12	SA-56, SA-57, SA-58, SA-59, SA-60
		EN – 13	SA-61, SA-62, SA-63, SA-64, SA-65
		EN – 14	SA-66, SA-67, SA-68, SA-69, SA-70
		EN – 15	SA-71*, SA-72, SA-73*, SA-74, SA-75*
4	4	EN - 16*	SA-76*, SA-77, SA-78*, SA-79, SA-80*
		EN – 17	SA-81, SA-82, SA-83, SA-84, SA-85
		EN – 18	SA-86, SA-87, SA-88, SA-89, SA-90
		EN – 19	SA-91, SA-92, SA-93, SA-94, SA-95
		EN – 20	SA-96*, SA-97, SA-98*, SA-99, SA-100*
5	5	EN - 21*	SA-101*, SA-102, SA-103*, SA-104, SA-105*
		EN – 22	SA-106, SA-107, SA-108, SA-109, SA-110
		EN – 23	SA-111, SA-112, SA-113, SA-114, SA-115
		EN – 24	SA-116, SA-117, SA-118, SA-119, SA-120
		EN – 25	SA-121*, SA-122, SA-123*, SA-124, SA-125*

(*) Amostras nas quais foram realizadas determinações de DBO.

5.9 Determinação de vazão

Como já visto anteriormente, foi necessária a utilização de um método mais simples para se obter uma vazão razoavelmente constante. Tal método constava de um sistema por gravidade, onde uma caixa de água de 50 L recebia o efluente dos reservatórios por bombeamento, utilizando bomba centrífuga KSB (Figura 10). Devido à sua alta capacidade de bombeamento, a caixa permanecia sempre cheia e o efluente excedente extravasava pelo “ladrão” retornando para os reservatórios (Figura 9). Na saída dessa caixa, antes de dar entrada no peneiramento propriamente dito, o efluente passava por um registro de esfera, onde era feito o controle da vazão. Nesse ponto, foi encontrada a maior dificuldade em se alcançar a precisão, pois foi praticamente impossível de se obter a mesma abertura de registro para todas as peneiras.



Figura 10 - Detalhe da bomba centrífuga KSB, utilizada no recalque do efluente dos reservatórios para o interior do sistema.

Foram feitas várias medições de vazão para cada rotação utilizada nos cinco ensaios, utilizando-se a média como valor representativo das determinações. Tomou-se o cuidado em verificar se os valores alcançados ficaram próximos, levando-se em consideração a simplicidade do método.

O Quadro 3 apresenta os valores da vazão média obtidos para cada ensaio.

Quadro 3 - Valores médios de vazão utilizados para cada peneira em todas as rotações e as amostras a que se referem.

Ensaio	Peneira	Vazão (mL.s ⁻¹)	Entrada	Saída
1	1	77,1	EN - 1	SA – 1 a 5
		123,3	EN - 2	SA – 6-10
		197,5	EN - 3	SA – 11-15
		360,7	EN - 4	SA – 16-20
		461,7	EN - 5	SA – 21-25
2	2	75,8	EN - 6	SA – 26-30
		126,6	EN - 7	SA – 31-35
		194,8	EN - 8	SA – 36-40
		341,4	EN - 9	SA – 41-45
		453,7	EN - 10	SA – 46-50
3	3	76,3	EN - 11	SA – 51-55
		129,6	EN - 12	SA – 56-60
		188,8	EN - 13	SA – 61-65
		343,2	EN - 14	SA – 66-70
		431,6	EN - 15	SA – 71-75
4	4	70,2	EN - 16	SA – 76-80
		120,4	EN - 17	SA – 81-85
		184,8	EN - 18	SA – 86-90
		333,1	EN - 19	SA – 91-95
		428,1	EN - 20	SA – 96-100
5	5	78,3	EN - 21	SA – 101-105
		122,0	EN - 22	SA – 106-110
		193,5	EN - 23	SA – 111-115
		308,1	EN - 24	SA – 116-120
		405,2	EN - 25	SA – 121-125

As medidas foram feitas coletando-se o efluente em um becker com capacidade de 2000 mL, cronometrando-se o tempo e medindo a quantidade coletada em provetas de 1000 e/ou 500mL. Calculou-se a vazão, em mL.s^{-1} , dividindo-se o volume coletado pelo tempo.

5.10 Sólidos

De acordo com o plano inicial, as determinações de sólidos se resumiriam em Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV). Essas determinações foram feitas de acordo com o descrito por Silva (1977)

Nessas determinações, tomou-se para cada amostra uma cápsula de porcelana seca a 600 °C por 20 minutos, esfriada e pesada (peso da cápsula = Pc).

A seguir foram colocados 100 mL de amostra em cada cápsula e as mesmas levadas a uma estufa, onde permaneceram por 24 h a uma temperatura de 75 °C. Após esse procedimento eram colocadas em dessecadores até o resfriamento e pesadas obtendo-se P1. A quantidade de Sólidos Totais (ST) foi dada pelo resultado da Equação (1):

$$ST = P1 - Pc \quad (1)$$

Após a determinação dos valores de P1, as cápsulas com os sólidos foram levadas para uma mufla a 600 °C, durante período de 2 h. Após retiradas, foram também colocadas em dessecadores até o resfriamento e pesadas obtendo-se P2. A quantidade de Sólidos Totais Fixos (STF) foi dada pelo cálculo da Equação (2):

$$STF = P2 - Pc \quad (2)$$

Subtraindo-se a quantidade de STF dos ST obtém-se a quantidade de Sólidos Totais Voláteis (STV), conforme a Equação (3):

$$STV = ST - STF \quad (3)$$

Deve-se salientar que todas as pesagens foram realizadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais.

5.11 pH

Com o intuito de se preservar as partes metálicas do caminhão pipa e também do sistema de peneiras rotativas construído para a realização do tratamento do efluente, optou-se por fazer a correção do pH através da adição de solução 1 Normal de Hidróxido de Potássio (KOH 1N) a cada carga que foi transportada da indústria para o local dos ensaios.

As determinações do pH foram feitas utilizando-se o Peagâmetro DIGIMED, modelo DMPH – 2 em todas as amostras, assim que se encerrava a coleta.

5.12 Turbidez

Devido à coloração muito escura do efluente, bem como a considerável presença de materiais em suspensão e dissolvidos, foram feitas leituras desse parâmetro em apenas algumas amostras, pois mesmo com diluições, que chegaram até a 25% em água destilada, não foi possível a leitura na escala máxima do Turbidímetro (POLILAB – modelo AP1000 II) disponível no Laboratório de Recursos Hídricos.

A unidade de determinação do aparelho é NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

5.13 Condutividade elétrica

A determinação dessa variável foi realizada com o auxílio de um Condutivímetro digital DIGIMED, modelo DM –31.

A célula de sensibilidade era lavada, seca e mergulhada na amostra, logo depois da coleta e no visor era registrado o valor corrigido para a temperatura padrão de 25 °C, na unidade $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

5.14 Demanda química de oxigênio (DQO)

A metodologia utilizada para determinar esta variável foi a utilizada nas análises de rotina do Laboratório de Recursos Hídricos, desenvolvida por Graner et al. (1998) conforme se descreve a seguir.

Na confecção da reta padrão, para 7 tubos de digestão (de vidro, com parede grossa, 25 mm diâmetro x 255 mm comprimento), transfere-se 0,00; 0,50; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00 e 5,00 mL da SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA com 3000 mg de DQO, e igualando-se os volumes a 5,00 mL pela adição de água destilada. Sob homogeneização constante, acrescenta-se aos tubos 5,00 mL de SOLUÇÃO DIGESTORA e 10,00 mL de SOLUÇÃO CATALÍTICA.

Após esse procedimento os tubos são cobertos com pequeno funil de vidro com haste curta e recurvada (para contato com a parede do tubo) e, em seguida, levados para estufa, onde sofrem aquecimento a temperatura entre 140°C-150°C por 2 horas.

Por fim, os tubos devem ser resfriados até atingir a temperatura ambiente, fazendo-se, a seguir, as leituras em Espectrofotômetro, com comprimento de onda de 600nm, em cubetas de 1cm de caminho óptico, contra a prova em branco. Utilizou-se para as análises o espectrofotômetro marca FEMTO - modelo 435.

A DQO correspondente é calculada pelas Expressões (4) e (5).

$$A = k_0 + k_1 \text{ DQO (mg.L}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

$$\text{DQO (mg.L}^{-1}\text{)} = (A - k_0) / k_1 \quad (5)$$

Para determinação em amostras procede-se de maneira idêntica à da obtenção da reta padrão, apenas substituindo-se a solução de referência por 5,00 mL de amostra e conduzindo uma prova em branco simultânea, para a qual deve-se usar 5,00 mL de água destilada. No caso de diluição multiplicar o resultado por D (número de diluições), utilizando-se a Equação (6) para o cálculo de DQO.

$$\text{DQO (mg.L}^{-1}\text{)} = D [(A - k_0) / k_1] \quad (6)$$

As amostras analisadas no presente estudo necessitaram de uma diluição a 20% para viabilizar a aplicação do método. Nesse caso, o fator D apresentou um valor igual a 5 (cinco).

Na leitura a 600 nm obtém-se o resultado A dando-se o cálculo através da curva padrão expressa pela Equação (7):

$$\text{DQO} = D [4,194 (A - 0,007)] \quad (7)$$

A título de ilustração apresenta-se a composição das soluções utilizadas (referência, digestora e catalítica):

SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA → 2,5529 g de hidrogenoftalato de potássio p.a. (seco a 120°C/2h) por litro de solução, previamente acidulada com 3 mL de solução concentrada (18 mol.L⁻¹) de ácido sulfúrico p.a.

SOLUÇÃO DIGESTORA → 0,08 mol.L⁻¹ em dicromato; 0,04 mol.L⁻¹ em sulfato de mercúrio(II) e 0,6 mol.L⁻¹ em ácido sulfúrico. Diluir 35 mL da solução concentrada (18 mol.L⁻¹) de ácido sulfúrico p.a. em cerca de 700 mL de água destilada e, nessa solução, dissolver 23,535 g de dicromato de potássio p.a. e 11,866 g de sulfato de mercúrio(II) p.a.; diluir até 1 litro com água destilada e homogeneizar. Armazenar em frasco de vidro ambar, com tampa esmerilhada

SOLUÇÃO CATALÍTICA → 20 mmol.L⁻¹ em sulfato de prata e 18 mol.L⁻¹ em ácido sulfúrico. Dissolver 6,236 g de sulfato de prata p.a. em 1L de solução concentrada (18 mol.L⁻¹) de ácido sulfúrico p.a.. Armazenar em frasco de vidro ambar, com tampa esmerilhada de vidro.

5.15 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Essa variável é de determinação mais complexa, pois exige que a incubação e a determinação do Oxigênio Dissolvido Inicial (OD inicial) sejam realizadas no mesmo dia da coleta das amostras.

Com o intuito de otimizar as condições laboratoriais existentes e manter no trabalho a determinação dessa importante variável, decidiu-se realizar as análises em apenas alguns pontos, os quais foram compostos pela primeira entrada de cada ensaio e em três saídas, referentes aos níveis de rotação das peneiras 2 (13rpm) – menor -, 5 (33rpm) – médio - e 8 (53rpm) – maior - , correspondentes às vazões extremas (maior e menor). (Quadro 2)

De acordo com esse procedimento, obteve-se 7 amostras por ensaio.

A metodologia utilizada para essa determinação foi a indicada pelo Standart Methods, que consiste basicamente, na determinação do OD inicial no ato da coleta e, após incubação durante 5 dias a 20 °C , determinação do OD final.

As determinações de ODI e ODF foram realizadas pelo Método de Winkler, modificado pela Azida Sódica.

Como o efluente se mostrava com elevada carga orgânica, as determinações de DBO foram feitas com diluições utilizando-se, para esse fim, a tabela 5.1 do Standart Methods (Water and Wastewater Examination Manual – pg. 166) ³. As diluições em mL.mL⁻¹ foram assim discriminadas: (a) 0,5/600; (b) 0,7/600; (c) 1,0/600 e (d) 1,2/600.

³ Fonte: Sawyer and Mc Carty (1978, p.424)

5.16 Espécies químicas

No decorrer do experimento determinou-se as concentrações das espécies químicas Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Manganês (Mn), nas amostras coletadas.

As determinações desses teores foram realizadas pelo Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo - FCA, de acordo com as metodologias utilizada na rotina do mesmo, a saber.

N (Nitrogênio total) – através do método Kjeldhl (digestão)

P – empregando-se o método colorimétrico

K, Fe, Cu, Mn – empregando-se absorção atômica.

5.17 Ensaio Extras

Seria muito cômodo e simples chegar ao final deste trabalho e concluir que o sistema de peneiramento rotativo proposto é inviável para o tratamento desse tipo de efluente, porém, esta importante prática é utilizada para tratar parcial ou totalmente alguns tipos de efluentes.

Então levantou-se a hipótese de que o sistema poderia ser aplicado em efluentes que possuíssem partículas sólidas em suspensão de dimensões conhecidas, ficando mais claro para o pesquisador, a determinação da malha a ser utilizada.

Desta hipótese surgiu a idéia de se fazer um ensaio extra, utilizando serragem de granulometria conhecida adicionada à água de abastecimento.

Posteriormente este “pseudo efluente” foi submetido ao mesmo tratamento dispensado ao efluente da Duratex.

Para que isso fosse possível, foi utilizada serragem coletada na marcenaria da Faculdade de Ciências Agrônômicas submetida a separação por peneiramento em três peneiras granulométricas Solotest comumente utilizadas em análises físicas de solo.

Utilizou-se apenas as partículas com diâmetros menores que 1,0 mm. As quantidades referentes a cada granulometria de separação encontram-se apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Granulometria das partículas de serragem utilizadas nos ensaios extras.

Diâmetro das partículas (mm)	peso (g)	% adicionada
1,00 - 0,50	3265	73
0,50 - 0,42	500	11
< 0,42	715	16
TOTAL	4480 *	100

* Quantidade adicionada em 1000 litros de água. Equivale a aproximadamente 4480 mg.L⁻¹.

Após separação e pesagem da serragem, adicionou-se a mesma em uma caixa de água com capacidade de 1000 L e fez-se a mistura completando o volume com água.

Com o objetivo de se conseguir um aumento da DQO, deixou-se a mistura incubando por uma semana, realizando-se os ensaios após esse período.

Por se tratar de um teste simples, foram utilizadas apenas duas peneiras (malhas 4 e 5), três rotações (menor, média e maior) e três vazões de entrada.

As nomenclaturas utilizadas para designar as amostras dos ensaios com serragem, bem como a que combinação se referem estão listadas a seguir.

- . S - no início refere-se à serragem, para o controle do Laboratório.
- . EN - indica as amostras de entrada, coletadas em 3 momentos do ensaio.
- . SA - indica as amostras de saída, que foram assim consideradas.
- . Q – vazão de entrada

Ensaio Extra 1

→ PENEIRA 5 - SA1 (pto. rotação 2) / SA2 (pto. rotação 5) / SA3 (pto. rotação 8) - $Q = 70,1 \text{ mL.s}^{-1}$
SA4 (pto. rotação 2) / SA5 (pto. rotação 5) / SA6 (pto. rotação 8) - $Q = 94,7 \text{ mL.s}^{-1}$
SA7 (pto. rotação 2) / SA8 (pto. rotação 5) / SA9 (pto. rotação 8) - $Q = 173,5 \text{ mL.s}^{-1}$

Ensaio Extra 2

→ PENEIRA 4 - SA10 (pto. rotação 2)/ SA11 (pto. rotação 5)/ SA12 (pto. rotação 8) - $Q = 71,8 \text{ mL.s}^{-1}$
SA13 (pto. rotação 2)/ SA14 (pto. rotação 5)/ SA15 (pto. rotação 8) - $Q = 100,4 \text{ mL.s}^{-1}$
SA16 (pto. rotação 2)/ SA17 (pto. rotação 5)/ SA18 (pto. rotação 8) - $Q = 169,2 \text{ mL.s}^{-1}$

As variáveis analisadas foram apenas os Sólidos Totais e a DQO. Optou-se por estas, pois a partir delas se pode ter uma boa noção do poder poluente de um efluente, e além disso, no caso do peneiramento rotativo, tem-se uma clara demonstração da correlação existente entre as duas variáveis.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Sólidos

A determinação da parte sólida do efluente, como já foi comentado, foi feita para as três variáveis: Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV).

Nos Quadros 5, 6, 7, 8 e 9 estão apresentados os valores dessas variáveis, obtidos para cada ensaio realizado em função das combinações malha x vazão x rotação.

Quadro 5 – Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	SF (g.m ⁻³)	SV (g.m ⁻³)
77,1		EN – 1	9380	587	8793
	13	SA – 1	9297	589	8708
	20	SA – 2	9301	632	8669
	33	SA – 3	9334	630	8704
	41	SA - 4	9262	601	8661
	53	SA – 5	9320	575	8745
123,3		EN – 2	9372	626	8746
	13	SA – 6	9273	622	8651
	20	SA – 7	9238	654	8584
	33	SA – 8	9292	619	8673
	41	SA – 9	9244	622	8622
	53	SA – 10	9291	576	8715
197,5		EN – 3	9329	592	8737
	13	SA – 11	9216	613	8603
	20	SA – 12	9280	582	8698
	33	SA – 13	9294	582	8712
	41	SA – 14	9267	567	8700
	53	SA – 15	8790	581	8209
360,7		EN – 4	9002	666	8336
	13	SA – 16	9023	648	8375
	20	SA – 17	9062	620	8442
	33	SA – 18	9018	679	8339
	41	SA – 19	8940	612	8328
	53	SA – 20	8887	591	8296
461,7		EN – 5	6989	452	6537
	13	SA – 21	6951	474	6477
	20	SA – 22	6959	539	6420
	33	SA – 23	6865	502	6363
	41	SA – 24	6863	475	6388
	53	SA – 25	6818	474	6344

Quadro 6 - Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	SF (g.m ⁻³)	SV (g.m ⁻³)
75,8		EN – 6	6653	455	6198
	13	SA – 26	6867	482	6385
	20	SA – 27	6982	496	6486
	33	SA – 28	6951	492	6459
	41	SA – 29	6542	440	6102
	53	SA – 30	6887	517	6370
126,6		EN – 7	6817	500	6317
	13	SA – 31	6910	475	6435
	20	SA – 32	6583	454	6129
	33	SA – 33	6507	453	6054
	41	SA – 34	6853	509	6344
	53	SA – 35	6543	556	5987
194,8		EN – 8	6948	553	6395
	13	SA – 36	6913	518	6395
	20	SA – 37	6935	497	6438
	33	SA – 38	7037	578	6459
	41	SA – 39	6978	527	6451
	53	SA – 40	6992	467	6525
341,4		EN – 9	7008	465	6543
	13	SA – 41	7001	504	6497
	20	SA – 42	6984	485	6499
	33	SA – 43	6999	478	6521
	41	SA – 44	7004	475	6529
	53	SA – 45	6932	512	6420
453,7		EN – 10	6973	493	6480
	13	SA – 46	6935	508	6427
	20	SA – 47	6988	459	6529
	33	SA – 48	7050	483	6567
	41	SA – 49	6999	511	6488
	53	SA – 50	6974	525	6449

Quadro 7 - Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	SF (g.m ⁻³)	SV (g.m ⁻³)
76,3		EN - 11	10463	96	10367
	13	SA - 51	10532	76	10456
	20	SA - 52	10419	117	10302
	33	SA - 53	10539	71	10468
	41	SA - 54	10521	72	10449
	53	SA - 55	10443	116	10327
129,6		EN - 12	---	---	---
	13	SA - 56	---	---	---
	20	SA - 57	---	---	---
	33	SA - 58	---	---	---
	41	SA - 59	---	---	---
	53	SA - 60	---	---	---
188,8		EN - 13	---	---	---
	13	SA - 61	---	---	---
	20	SA - 62	---	---	---
	33	SA - 63	---	---	---
	41	SA - 64	---	---	---
	53	SA - 65	---	---	---
343,2		EN - 14	10422	158	10264
	13	SA - 66	10543	78	10465
	20	SA - 67	10601	56	10545
	33	SA - 68	10362	119	10243
	41	SA - 69	10421	71	10350
	53	SA - 70	10469	102	10367
431,6		EN - 15	10562	130	10432
	13	SA - 71	10513	120	10393
	20	SA - 72	10616	94	10522
	33	SA - 73	10574	113	10461
	41	SA - 74	10448	153	10295
	53	SA - 75	10531	53	10478

Quadro 8 - Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm) incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	SF (g.m ⁻³)	SV (g.m ⁻³)
70,2		EN - 16			
	13	SA - 76	10483	120	10363
	20	SA - 77	10537	35	10502
	33	SA - 78	10543	163	10380
	41	SA - 79	10588	72	10516
	53	SA - 80	10459	87	10372
120,4		EN - 17	10941	225	10716
	13	SA - 81	10555	170	10385
	20	SA - 82	10693	167	10526
	33	SA - 83	10616	133	10483
	41	SA - 84	10585	101	10484
	53	SA - 85	10747	59	10688
184,8		EN - 18	10698	150	10548
	13	SA - 86	10520	142	10378
	20	SA - 87	10540	162	10378
	33	SA - 88	10640	166	10474
	41	SA - 89	10810	213	10597
	53	SA - 90	10562	137	10425
333,1		EN - 19	10633	63	10570
	13	SA - 91	10660	81	10579
	20	SA - 92	10743	188	10555
	33	SA - 93	10745	169	10576
	41	SA - 94	10570	169	10401
	53	SA - 95	6762	223	6539
428,1		EN - 20	10611	81	10530
	13	SA - 96	10704	161	10543
	20	SA - 97	10696	230	10466
	33	SA - 98	10602	90	10512
	41	SA - 99	10684	162	10522
	53	SA - 100	10659	146	10513

Quadro 9 - Valores obtidos para Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e Sólidos Totais Voláteis (SV) em cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	SF (g.m ⁻³)	SV (g.m ⁻³)
78,3		EN - 21	9676	1013	8663
	13	SA - 101	9636	1045	8591
	20	SA - 102	9660	1083	8577
	33	SA - 103	9671	1061	8610
	41	SA - 104	9657	1031	8626
	53	SA - 105	9681	1068	8613
122,0		EN - 22	9702	1049	8653
	13	SA - 106	9694	1013	8681
	20	SA - 107	9662	1042	8620
	33	SA - 108	9564	1040	8524
	41	SA - 109	9795	1044	8751
	53	SA - 110	9516	940	8576
193,5		EN - 23	9657	1023	8634
	13	SA - 111	9600	1051	8549
	20	SA - 112	9650	1035	8615
	33	SA - 113	9690	971	8719
	41	SA - 114	9635	988	8647
	53	SA - 115	9664	956	8708
308,1		EN - 24	9644	1001	8643
	13	SA - 116	9796	936	8860
	20	SA - 117	9643	1045	8598
	33	SA - 118	9618	1002	8616
	41	SA - 119	9676	968	8708
	53	SA - 120	9701	921	8780
405,2		EN - 25	9724	968	8756
	13	SA - 121	9579	998	8581
	20	SA - 122	9498	850	8648
	33	SA - 123	9313	573	8740
	41	SA - 124	9278	615	8663
	53	SA - 125	9383	620	8763

Observando-se os Quadros de 5 a 9 , pode-se notar que os valores de sólidos nas entradas são praticamente similares aos obtidos para as saídas, sem se verificar diferenças palpáveis.

Ainda no Quadro 6 pode-se observar que houve perda de resultados para as combinações referentes às entradas EN-12 e EN-13, isso ocorreu devido a erros analíticos e operacionais no laboratório, e fatalmente essas análises seriam refeitas caso se observassem resultados mais concretos de redução do parâmetro nas demais combinações.

No decorrer dos estudos começou-se a notar que a funcionalidade do sistema era um tanto quanto insuficiente para o tratamento do efluente em questão, pois, no que se refere aos sólidos, mesmo quando se aplicava o peneiramento com malhas bem menores que a recomendada por Farinet (1996) não se conseguiu obter bons resultados.

Para detectar possíveis erros de operação do sistema e/ou confirmar se as malhas utilizadas eram de tamanho insuficiente para a retenção das fibras, optou-se por fazer outros testes, visando o aumento da capacidade de retenção.

Para isso fez-se o revestimento da peneira 5 (malha 0,25 mm) com dois materiais de menor permeabilidade, tela plástica (malha 0,1 mm) e bidim (manta sintética). Esses materiais foram fixados do lado interno da peneira rotativa com o uso de silicone.

Por se tratar de testes extras, utilizou-se apenas de uma determinação de entrada e três de saída, mantendo-se a mesma vazão e alterando as rotações. Convencionou-se chamar as amostras como se apresenta a seguir, e os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 10.

→ **Tela:**

- amostras:- T-EN – entrada
T-SA1 – saída (rotação ponto 2)
T-SA2 – saída (rotação ponto 3)
T-SA3 – saída (rotação ponto 5)

. vazão de entrada média:- 134,6 mL.s⁻¹

→ **Bidim:**

- amostras:- B-EN – entrada
B-SA1 – saída (rotação ponto 2)
B-SA2 – saída (rotação ponto 3)
B-SA3 – saída (rotação ponto 5)

. vazão de entrada média:- 103,5 mL.s⁻¹

Quadro 10 - Resultados obtidos para sólidos totais (ST) nas amostras coletadas nos testes de peneiras revestidas com TELA e BIDIM.

Amostra	S.T. (g/m³)	% REDUÇÃO
T – EN	8091	---
T – SA1	7904	2,31
T – SA2	7476	7,60
T – SA3	7747	4,25
B – EN	7265	---
B – SA1	7901	-xx-
B – SA2	7711	-xx-
B – SA3	6919	4,76

Como se pode observar pelos valores percentuais em negrito, para algumas amostras houve uma pequena redução nas quantidades de sólidos, mas ainda aquém do esperado, e desta feita com malhas ainda menores do que o inicialmente recomendado.

Tendo como base os resultados do Quadro 10, resolveu-se olhar o problema por outra ótica e, para isso realizou-se testes de determinação de Sólidos em Suspensão (SS) e Dissolvidos (SD). Na determinação das quantidades de SS foi utilizado o método gravimétrico de acordo com Teixeira e Kutner (1962) e para SD aplicou-se o método

citado por Silva (1977), semelhante à determinação dos Sólidos Totais. Para esse procedimento utilizou-se as sobras das mesmas amostras utilizadas nas determinações dos ST, STF e STV.

Tais determinações foram feitas apenas para amostras dos ensaios 4 e 5, ou seja, aquelas oriundas das peneiras de menor malha. Nos Quadros 11 e 12 estão apresentados os resultados obtidos para estas variáveis. Faz-se necessário salientar que a determinação dessas duas variáveis não constavam no plano inicial.

Ao observar os resultados, pode-se perceber que houve uma ocorrência muito maior de Sólidos Dissolvidos (SD) e, portanto, não haveria retenção satisfatória por menor que fossem as malhas das peneiras testadas.

Quadro 11 - Valores obtidos para Sólidos em Suspensão (SS) e Sólidos Dissolvidos (SD), e porcentagem de ocorrência em relação a ST para as amostras do Ensaio 4.

Amostra	S.S. (mg.L⁻¹)	S.D. (mg.L⁻¹)	S.T. (mg.L⁻¹)^(a)	% S.S.	% S.D.
EN – 16	1076	9288	---	---	---
SA – 76	1024	9404	10483	9,77	89,71
SA – 77	822	9730	10537	7,80	92,34
SA – 78	1074	9558	10543	10,19	90,66
SA – 79	876	9494	10588	8,27	89,67
SA – 80	1020	9542	10459	9,75	91,23
EN – 17	1358	9476	10941	12,41	86,61
SA – 81	1118	9586	10555	10,59	90,82
SA – 82	1162	9252	10693	10,87	86,52
SA – 83	1024	9360	10616	9,65	88,17
SA – 84	904	9098	10585	8,54	85,95
SA – 85	1126	9416	10747	10,48	87,62
EN – 18	608	9694	10698	5,68	90,62
SA – 86	1046	9750	10520	9,94	92,68
SA – 87	802	9534	10540	7,61	90,46
SA – 88	1106	9674	10640	10,39	90,92
SA – 89	1300	9576	10810	12,03	88,58
SA – 90	1162	9382	10562	11,00	88,83
EN – 19	978	9628	10633	9,20	90,55
SA – 91	666	9674	10660	6,25	90,75
SA – 92	1214	9046	10743	11,30	84,20
SA – 93	1134	9546	10745	10,55	88,84
SA – 94	1050	9344	10570	9,93	88,40
SA – 95	1186	9576	6762	---	---
EN – 20	1050	9520	10611	9,90	89,72
SA – 96	1020	9516	10704	9,53	88,90
SA – 97	990	9462	10696	9,26	88,46
SA – 98	926	9418	10602	8,73	88,83
SA – 99	952	9408	10684	8,91	88,06
SA – 100	1154	9396	10659	10,83	88,15

(a) – Resultados obtidos a partir dos sólidos totais do Quadro 8

Quadro 12 - Valores obtidos para Sólidos em Suspensão (SS) e Sólidos Dissolvidos (SD), e porcentagem de ocorrência em relação a ST para as amostras do Ensaio 5.

Amostra	S.S. (mg.L⁻¹)	S.D. (mg.L⁻¹)	S.T. (mg.L⁻¹)^(a)	% S.S.	% S.D.
EN – 21	842	7778	9676	8,70	80,38
SA – 101	912	7770	9636	9,46	80,64
SA – 102	1122	7566	9660	11,61	78,32
SA – 103	548	7908	9671	5,67	81,77
SA – 104	280	8770	9657	2,90	90,81
SA – 105	962	7600	9681	9,94	78,50
EN – 22	1060	7780	9702	10,93	80,19
SA – 106	1092	7870	9694	11,26	81,18
SA – 107	1026	6642	9662	10,62	68,75
SA – 108	811	5742	9564	8,49	60,04
SA – 109	973	7656	9795	9,94	78,16
SA – 110	900	7309	9516	9,47	76,81
EN – 23	1036	7477	9657	10,73	77,43
SA – 111	1029	7319	9600	10,73	76,24
SA – 112	1065	7774	9650	11,05	80,57
SA – 113	1009	7260	9690	10,42	74,92
SA – 114	950	7233	9635	9,86	75,08
SA – 115	1085	7180	9664	11,23	74,30
EN – 24	1013	7230	9644	10,50	74,97
SA – 116	1032	7378	9796	10,54	75,32
SA – 117	1009	6454	9643	10,47	66,94
SA – 118	696	7398	9618	7,24	76,92
SA – 119	663	7180	9676	6,86	74,21
SA – 120	1316	7609	9701	13,57	78,44
EN – 25	976	6876	9724	10,04	70,71
SA – 121	726	7048	9579	7,58	73,59
SA – 122	861	7078	9498	9,07	74,53
SA – 123	950	7504	9313	10,21	80,58
SA – 124	943	6570	9278	10,17	70,82
SA – 125	943	7098	9383	10,06	75,65

(a) – Resultados obtidos a partir do sólidos totais do Quadro 9.

6.2 pH

Mesmo com a adição de 32 L de KOH 1N a cada viagem realizada pelo caminhão pipa, pode-se notar, pelos Quadros 13, 14, 15, 16 e 17, uma variação considerável nos valores de pH, variação esta que na maioria das vezes ficou entre 4 e 5, ocorrendo em poucas amostras valores próximos ao esperado que era 6,5.

Presume-se que essa variação seja causada pela falta de precisão no momento em que se carregava o caminhão, pois não havia nenhuma indicação do volume que era bombeado para o interior do tanque.

Os citados Quadros apresentam os valores de pH das amostras, juntamente com os resultados obtidos para condutividade elétrica e turbidez.

6.3 Turbidez

O efluente em questão apresenta uma coloração muito escura devido a grande quantidade de material sólido nele dissolvidos e/ou em suspensão. Portanto, ficou impossibilitada a determinação dessa variável no Turbidímetro disponível no laboratório onde as amostras foram analisadas, até mesmo quando se optou por se fazer a diluição do efluente a 25% em água destilada.

Os valores maiores que 1000 NTU nos Quadros 13 a 17 significam que a Turbidez é maior do que o valor máximo determinado pelo aparelho disponível.

6.4 Condutividade elétrica

Os valores apresentados nos Quadros 13, 14, 15, 16 e 17 referentes à Condutividade Elétrica se mostram bastante elevados, ficando na maioria das vezes na faixa entre 900 a 1500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 25 °C, isso se deve, a semelhança da turbidez, à grande quantidade de sólidos presentes na forma suspensa e dissolvida.

6.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

A redução significativa desta importante variável indicadora de poluição foi uma das mais fortes justificativas para a recomendação do método proposto por Farinet (1996) no tratamento do efluente gerado pela Duratex S/A.

Esta variável estima a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica biodegradável e aquela biologicamente estável (Zuccari, 1992), além da matéria inorgânica. Portanto, os valores de DQO, diferentemente da DBO, representam não apenas o Oxigênio consumido biologicamente, mas sim toda a matéria oxidável (Conte, 1999).

Os resultados para a DQO obtidos nas análises das amostras de todas as combinações estão representados no Quadro 18 e ao observá-los pode-se perceber que não houve um comportamento satisfatório do sistema de tratamento, no tocante à melhoria da qualidade do efluente, que seria dada pela redução dessa variável. Isso mais uma vez contraria as previsões de Farinet (1996), e contribui para a não indicação do método no tratamento do efluente em questão.

Quadro 13 - Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	Turbidez (NTU)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)
77,1		EN – 1	> 1000	4,86	899
	13	SA – 1	> 1000	4,84	892
	20	SA – 2	> 1000	4,87	898
	33	SA – 3	> 1000	4,87	900
	41	SA – 4	> 1000	4,89	906
	53	SA – 5	> 1000	4,89	904
123,3		EN – 2	> 1000	4,85	890
	13	SA – 6	> 1000	4,86	895
	20	SA – 7	> 1000	4,87	897
	33	SA – 8	> 1000	4,86	896
	41	SA – 9	> 1000	4,86	901
	53	SA – 10	> 1000	4,86	894
197,5		EN – 3	> 1000	4,82	885
	13	SA – 11	> 1000	4,84	888
	20	SA – 12	> 1000	4,81	885
	33	SA – 13	> 1000	4,82	885
	41	SA – 14	> 1000	4,83	878
	53	SA – 15	> 1000	4,84	875
360,7		EN – 4	> 1000	5,16	964
	13	SA – 16	> 1000	5,15	958
	20	SA – 17	> 1000	5,13	950
	33	SA – 18	> 1000	5,12	942
	41	SA – 19	> 1000	5,11	936
	53	SA – 20	> 1000	5,08	930
461,7		EN – 5	> 1000	4,66	773
	13	SA – 21	> 1000	4,62	755
	20	SA – 22	> 1000	4,64	762
	33	SA – 23	> 1000	4,60	768
	41	SA – 24	> 1000	4,69	764
	53	SA – 25	> 1000	4,72	759

Quadro 14 - Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	Turbidez (NTU)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)
75,8		EN – 6	> 1000	4,68	774
	13	SA – 26	> 1000	4,69	767
	20	SA – 27	> 1000	4,65	777
	33	SA – 28	> 1000	4,70	769
	41	SA – 29	> 1000	4,71	776
	53	SA – 30	> 1000	4,71	786
126,6		EN – 7	> 1000	4,77	777
	13	SA – 31	> 1000	4,72	784
	20	SA – 32	> 1000	4,74	786
	33	SA – 33	> 1000	4,75	788
	41	SA – 34	> 1000	4,78	792
	53	SA – 35	> 1000	4,72	788
194,8		EN – 8	> 1000	4,80	791
	13	SA – 36	> 1000	4,79	790
	20	SA – 37	> 1000	4,83	788
	33	SA – 38	> 1000	4,85	793
	41	SA – 39	> 1000	4,87	794
	53	SA – 40	> 1000	4,87	796
341,4		EN – 9	> 1000	4,73	763
	13	SA – 41	> 1000	4,75	771
	20	SA – 42	> 1000	4,75	772
	33	SA – 43	> 1000	4,77	778
	41	SA – 44	> 1000	4,80	778
	53	SA – 45	> 1000	4,81	779
453,7		EN – 10	> 1000	4,83	772
	13	SA – 46	> 1000	4,80	773
	20	SA – 47	> 1000	4,82	777
	33	SA – 48	> 1000	4,82	781
	41	SA – 49	> 1000	4,84	783
	53	SA – 50	> 1000	4,83	780

Quadro 15 - Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	Turbidez (NTU)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)
76,3		EN – 11	> 1000	4,72	1110
	13	SA – 51	> 1000	4,74	1106
	20	SA – 52	> 1000	4,75	1104
	33	SA – 53	> 1000	4,75	1108
	41	SA – 54	> 1000	4,75	1107
	53	SA – 55	> 1000	4,77	1108
129,6		EN – 12	> 1000	4,75	1106
	13	SA – 56	> 1000	4,75	1105
	20	SA – 57	> 1000	4,76	1106
	33	SA – 58	> 1000	4,77	1110
	41	SA – 59	> 1000	4,78	1109
	53	SA – 60	> 1000	4,78	1112
188,8		EN – 13	> 1000	4,78	1116
	13	SA – 61	> 1000	4,79	1113
	20	SA – 62	> 1000	4,81	1120
	33	SA – 63	> 1000	4,80	1119
	41	SA – 64	> 1000	4,81	1118
	53	SA – 65	> 1000	4,81	1123
343,2		EN – 14	> 1000	4,81	1119
	13	SA – 66	> 1000	4,81	1123
	20	SA – 67	> 1000	4,82	1123
	33	SA – 68	> 1000	4,82	1126
	41	SA – 69	> 1000	4,83	1128
	53	SA – 70	> 1000	4,83	1129
431,6		EN – 15	> 1000	4,84	1129
	13	SA – 71	> 1000	4,84	1129
	20	SA – 72	> 1000	4,85	1129
	33	SA – 73	> 1000	4,86	1129
	41	SA – 74	> 1000	4,91	1144
	53	SA – 75	> 1000	4,91	1152

Quadro 16 - Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	Turbidez (NTU)	pH	CE μS.cm ⁻¹)
70,2		EN – 16	> 1000	4,81	1132
	13	SA – 76	> 1000	4,81	1130
	20	SA – 77	> 1000	4,82	1131
	33	SA – 78	> 1000	4,82	1133
	41	SA – 79	> 1000	4,83	1131
	53	SA – 80	> 1000	4,83	1134
120,4		EN – 17	> 1000	4,91	1151
	13	SA – 81	> 1000	4,86	1142
	20	SA – 82	> 1000	4,88	1141
	33	SA – 83	> 1000	4,88	1143
	41	SA – 84	> 1000	4,88	1143
	53	SA – 85	> 1000	4,90	1146
184,8		EN – 18	> 1000	5,04	1187
	13	SA – 86	> 1000	5,05	1188
	20	SA – 87	> 1000	5,05	1189
	33	SA – 88	> 1000	5,05	1186
	41	SA – 89	> 1000	5,06	1189
	53	SA – 90	> 1000	5,06	1190
333,1		EN – 19	> 1000	5,06	1192
	13	SA – 91	> 1000	5,07	1189
	20	SA – 92	> 1000	5,07	1188
	33	SA – 93	> 1000	5,06	1190
	41	SA – 94	> 1000	5,06	1187
	53	SA – 95	> 1000	5,08	1196
428,1		EN – 20	> 1000	5,03	1187
	13	SA – 96	> 1000	5,03	1185
	20	SA – 97	> 1000	5,04	1183
	33	SA – 98	> 1000	5,04	1183
	41	SA – 99	> 1000	5,05	1186
	53	SA – 100	> 1000	5,05	1186

Quadro 17 - Valores obtidos para Turbidez, pH e Condutividade Elétrica (CE) para cada ponto amostrado correspondentes ao Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm), incluindo-se os valores de vazões de entrada e rotações da peneira.

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	Turbidez (NTU)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)
78,3		EN – 21	> 1000	6,29	1514
	13	SA – 101	> 1000	6,10	1511
	20	SA – 102	> 1000	6,15	1521
	33	SA – 103	> 1000	6,14	1530
	41	SA – 104	> 1000	6,19	1520
	53	SA – 105	> 1000	6,18	1537
122,0		EN – 22	> 1000	6,18	1533
	13	SA – 106	> 1000	6,15	1534
	20	SA – 107	> 1000	6,12	1528
	33	SA – 108	> 1000	6,12	1527
	41	SA – 109	> 1000	6,14	1530
	53	SA – 110	> 1000	5,42	1524
193,5		EN – 23	> 1000	6,13	1517
	13	SA – 111	> 1000	6,13	1510
	20	SA – 112	> 1000	6,08	1516
	33	SA – 113	> 1000	6,10	1515
	41	SA – 114	> 1000	6,13	1508
	53	SA – 115	> 1000	6,09	1504
308,1		EN - 24	> 1000	6,07	1498
	13	SA – 116	> 1000	6,06	1492
	20	SA – 117	> 1000	6,07	1497
	33	SA – 118	> 1000	5,97	1485
	41	SA – 119	> 1000	6,01	1482
	53	SA – 120	> 1000	5,95	1476
405,2		EN - 25	> 1000	5,94	1472
	13	SA – 121	> 1000	5,88	1469
	20	SA – 122	> 1000	5,45	1277
	33	SA – 123	> 1000	4,78	846
	41	SA – 124	> 1000	4,90	902
	53	SA – 125	> 1000	4,93	924

Quadro 18 - Resultados finais das determinações de DQO para as amostras referentes aos Ensaios 1, 2, 3, 4 e 5.

Amostra Ensaio 1	DQO (mg.L ⁻¹)	Amostra Ensaio 2	DQO (mg.L ⁻¹)	Amostra Ensaio 3	DQO (mg.L ⁻¹)	Amostra Ensaio 4	DQO (mg.L ⁻¹)	Amostra Ensaio 5	DQO (mg.L ⁻¹)
EN – 1	10684,2	EN – 6	8545,3	EN – 11	11848,1	EN – 16	12355,5	EN – 21	10222,9
SA – 1	11124,6	SA – 26	9279,2	SA – 51	11439,1	SA – 76	12162,6	SA – 101	10023,7
SA – 2	10914,9	SA – 27	8220,2	SA – 52	11827,1	SA – 77	12447,8	SA – 102	9845,4
SA – 3	10684,2	SA – 28	8304,1	SA – 53	11481,1	SA – 78	12691,0	SA – 103	9698,6
SA – 4	10506,0	SA – 29	8388,0	SA – 54	11984,4	SA – 79	12598,8	SA – 104	9897,8
SA – 5	10652,8	SA – 30	8125,9	SA – 55	12026,3	SA – 80	12716,2	SA – 105	9667,2
EN – 2	10904,4	EN – 7	8220,2	EN – 12	11722,2	EN – 17	13269,8	EN – 22	9457,5
SA – 6	11061,7	SA – 31	8335,6	SA – 56	11565,0	SA – 81	13035,0	SA – 106	9730,1
SA – 7	10841,5	SA – 32	7853,3	SA – 57	11659,3	SA – 82	12707,8	SA – 107	9069,5
SA – 8	10568,9	SA – 33	7884,7	SA – 58	10715,7	SA – 83	11753,7	SA – 108	10914,9
SA – 9	10086,6	SA – 34	8073,5	SA – 59	11879,5	SA – 84	11554,5	SA – 109	10789,1
SA – 10	10411,6	SA – 35	8807,4	SA – 60	11156,0	SA – 85	12015,8	SA – 110	11198,0
EN – 3	10600,3	EN – 8	8115,4	EN – 13	11732,7	EN – 18	11680,3	EN – 23	10621,3
SA – 11	10254,3	SA – 36	7905,7	SA – 61	11135,1	SA – 86	12068,2	SA – 111	11019,7
SA – 12	9960,8	SA – 37	7727,4	SA – 62	11040,7	SA – 87	12215,0	SA – 112	10652,8
SA – 13	10306,8	SA – 38	7926,7	SA – 63	11690,8	SA – 88	11544,0	SA – 113	10369,7
SA – 14	10191,4	SA – 39	7853,3	SA – 64	11942,4	SA – 89	11869,0	SA – 114	10935,9
SA – 15	10558,4	SA – 40	7905,7	SA – 65	11680,3	SA – 90	12131,1	SA – 115	10705,2
EN – 4	10338,2	EN – 9	8094,4	EN – 14	11292,3	EN – 19	11659,3	EN – 24	10254,3
SA – 16	10736,6	SA – 41	7517,7	SA – 66	11439,1	SA – 91	11795,6	SA – 116	10086,6
SA – 17	10474,5	SA – 42	8157,3	SA – 67	11376,2	SA – 92	11239,9	SA – 117	10191,4
SA – 18	10359,2	SA – 43	7958,1	SA – 68	11606,9	SA – 93	12057,8	SA – 118	10694,7
SA – 19	10474,5	SA – 44	7475,8	SA – 69	11984,4	SA – 94	11900,5	SA – 119	11198,0
SA – 20	8817,9	SA – 45	7874,2	SA – 70	11019,7	SA – 95	12089,2	SA – 120	11449,6
EN – 5	7947,6	EN – 10	7014,5	EN – 15	12749,8	EN – 20	11900,5	EN – 25	10757,6
SA – 21	7601,6	SA – 46	7203,2	SA – 71	12112,3	SA – 96	11806,1	SA – 121	10579,4
SA – 22	8073,5	SA – 47	7475,8	SA – 72	11994,8	SA – 97	11942,4	SA – 122	10935,9
SA – 23	8115,4	SA – 48	7905,7	SA – 73	12582,0	SA – 98	11753,7	SA – 123	11019,7
SA – 24	8188,8	SA – 49	7916,2	SA – 74	12405,9	SA – 99	11669,8	SA – 124	10506,0
SA – 25	8021,0	SA – 50	7947,6	SA – 75	12187,8	SA – 100	11732,7	SA – 125	10411,6

6.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Os resultados obtidos para DBO, no decorrer do trabalho, estão apresentados no Quadro 19, os quais, à semelhança das demais variáveis já observadas, não se mostraram satisfatórios para o efluente em estudo.

Quadro 19 - Resultados de DBO obtidos nas análises de amostras das combinações escolhidas para representar os Ensaios 1, 2, 3, 4, 5.

Amostra Ensaio 1	DBO (mg.L⁻¹)	Amostra Ensaio 2	DBO (mg.L⁻¹)	Amostra Ensaio 3	DBO (mg.L⁻¹)	Amostra Ensaio 4	DBO (mg.L⁻¹)	Amostra Ensaio 5	DBO (mg.L⁻¹)
EN – 1	3302	EN – 6	834	EN – 11	3225	EN – 16	3133	EN – 21	3769
SA – 1	4320	SA – 26	896	SA – 51	6190	SA – 76	3140	SA – 101	3524
SA – 3	3166	SA – 28	644	SA – 53	3374	SA – 78	3179	SA – 103	2917
SA – 5	3210	SA – 30	742	SA – 55	3190	SA – 80	3092	SA – 105	3213
SA – 21	1447	SA – 46	1077	SA – 71	3214	SA – 96	3132	SA – 121	3060
SA – 23	807	SA – 48	817	SA – 73	3116	SA – 98	3237	SA – 123	3051
SA – 25	594	SA – 50	530	SA – 75	3203	SA – 100	3207	SA – 125	3175

6.7 Espécies químicas

Como, em sua maioria, esses elementos se apresentam dissolvidos no efluente, pode-se verificar pelos Quadros de 20 a 24 que não ocorreram reduções satisfatórias em seus valores antes e após o peneiramento.

Quadro 20 - Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 1 (peneira 1 – malha 1,50 mm).

AMOSTRA	N (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)
EN1	20	9	276	0,1	11,8	5,6
SA1	21	9	284	0,2	11,8	5,7
SA2	22	6	192	0,2	10,0	3,8
SA3	15	10	268	0,2	11,0	5,7
SA4	21	9	280	0,2	12,0	5,7
SA5	20	8	224	0,2	10,2	4,5
EN2	27	10	272	0,1	11,5	5,5
SA6	20	9	272	0,2	11,2	5,7
SA7	23	10	268	0,2	10,4	5,2
SA8	21	8	260	0,2	11,5	5,4
SA9	24	9	284	0,2	11,5	5,7
SA10	19	7	240	0,2	10,7	4,6
EN3	22	11	256	0,1	11,4	5,4
SA11	22	9	260	0,2	11,5	5,6
SA12	22	9	268	0,2	11,2	5,6
SA13	22	8	260	0,2	11,5	5,4
SA14	20	9	256	0,1	11,2	5,5
SA15	20	8	232	0,1	11,0	4,8
EN4	22	10	268	0,1	13,6	5,8
SA16	20	7	204	0,1	12,7	4,3
SA17	22	8	244	0,1	12,2	4,9
SA18	22	8	240	0,1	12,1	5,3
SA19	22	9	260	0,2	13,0	6,3
SA20	20	7	220	0,1	11,5	4,7
EN5	27	9	240	0,1	8,0	4,4
SA21	20	9	240	0,2	8,1	4,5
SA22	18	8	236	0,1	7,6	4,4
SA23	18	9	232	0,1	7,3	4,2
SA24	18	9	252	0,2	7,4	4,3
SA25	19	9	240	0,2	7,8	4,4

Quadro 21 - Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 2 (peneira 2 – malha 1,00 mm).

AMOSTRA	N (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)
EN6	18	8	236	0,1	8,4	4,3
SA26	18	8	240	0,2	7,5	4,4
SA27	17	8	240	0,2	7,6	4,2
SA28	18	8	240	0,2	7,6	4,5
SA29	18	8	248	0,2	7,6	4,3
SA30	17	8	244	0,2	7,4	4,3
EN7	24	8	248	0,1	8,5	4,3
SA31	15	9	236	0,2	7,1	4,2
SA32	17	9	244	0,2	9,2	4,3
SA33	19	9	244	0,2	8,8	4,2
SA34	18	8	240	0,2	7,6	4,2
SA35	18	9	236	0,2	8,5	4,5
EN8	22	9	252	0,1	8,4	4,2
SA36	18	8	240	0,2	7,8	4,2
SA37	19	9	252	0,2	9,4	4,3
SA38	22	9	260	0,2	11,0	4,4
SA39	17	10	232	0,2	8,8	4,0
SA40	17	8	252	0,2	7,7	4,1
EN9	18	9	244	0,1	8,0	4,4
SA41	24	8	232	0,2	7,0	4,0
SA42	18	9	236	0,2	9,3	4,4
SA43	18	8	232	0,2	7,4	4,2
SA44	15	8	252	0,1	7,7	4,3
SA45	15	8	236	0,2	8,5	4,4
EN10	23	9	244	0,1	7,2	4,1
SA46	17	8	232	0,2	7,4	4,3
SA47	15	9	244	0,2	7,3	4,3
SA48	15	8	240	0,2	8,6	4,2
SA49	18	8	228	0,2	7,8	4,2
SA50	17	8	248	0,2	8,1	0,4

Quadro 22 - Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 3 (peneira 3 – malha 0,75 mm).

AMOSTRA	N (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)
EN11	30	10	332	0,1	9,7	7,6
SA51	25	8	324	0,2	10,3	7,8
SA52	22	8	328	0,2	10,4	7,9
SA53	24	8	328	0,2	10,3	7,8
SA54	24	8	324	0,2	9,0	7,8
SA55	25	8	328	0,2	9,4	7,7
EN12	25	8	336	0,1	9,4	7,7
SA56	22	8	316	0,2	9,3	8,0
SA57	24	8	336	0,2	9,3	7,6
SA58	24	8	336	0,2	9,8	7,7
SA59	22	8	324	0,2	9,6	7,7
SA60	25	8	332	0,2	9,7	7,9
EN13	23	8	328	0,1	9,2	7,7
SA61	25	8	340	0,2	9,2	7,6
SA62	22	8	320	0,1	9,5	7,4
SA63	22	9	324	0,1	9,3	7,4
SA64	22	8	336	0,1	9,0	7,7
SA65	23	8	336	0,1	9,4	7,8
EN14	29	8	332	0,1	9,2	7,6
SA66	22	8	320	0,1	8,8	7,6
SA67	22	8	316	0,1	9,0	7,6
SA68	24	8	324	0,1	9,1	7,8
SA69	23	8	344	0,1	8,9	7,6
SA70	22	9	332	0,1	8,6	7,4
EN15	33	8	340	0,1	9,4	7,9
SA71	25	9	332	0,1	9,6	7,4
SA72	22	9	312	0,2	8,9	7,4
SA73	25	8	324	0,1	10,2	7,6
SA74	22	8	300	0,1	9,4	7,7
SA75	25	8	344	0,1	9,9	7,6

Quadro 23 - Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 4 (peneira 4 – malha 0,50 mm).

AMOSTRA	N (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)
EN16	27	8	348	0,1	10,7	7,6
SA76	26	8	328	0,1	10,2	7,8
SA77	23	8	328	0,2	9,4	7,6
SA78	29	8	328	0,1	11,2	7,6
SA79	26	8	312	0,1	8,8	6,9
SA80	24	10	316	0,2	10,3	7,4
EN17	27	8	344	0,1	13,0	7,8
SA81	31	8	320	0,1	12,1	7,7
SA82	29	9	332	0,1	13,2	8,4
SA83	24	8	328	0,1	12,7	7,6
SA84	25	8	336	0,1	11,9	7,8
SA85	22	8	336	0,1	11,8	7,6
EN18	27	9	340	0,1	10,8	7,3
SA86	23	6	252	0,1	10,2	5,9
SA87	27	8	320	0,1	10,9	7,2
SA88	25	11	316	0,1	11,1	7,0
SA89	27	8	324	0,1	12,1	7,7
SA90	23	8	336	0,1	12,5	7,0
EN19	32	8	352	0,1	11,7	7,8
SA91	29	8	332	0,1	11,5	7,4
SA92	25	8	336	0,1	13,2	7,4
SA93	27	8	336	0,1	11,4	7,4
SA94	27	8	332	0,1	11,4	7,4
SA95	27	8	324	0,1	13,2	7,5
EN20	32	8	340	0,1	11,5	7,6
SA96	25	9	316	0,2	10,2	7,0
SA97	32	8	328	0,1	11,0	7,2
SA98	30	8	336	0,1	11,3	7,7
SA99	29	8	336	0,1	11,4	7,7
SA100	27	8	344	0,1	12,0	7,8

Quadro 24 - Resultados das concentrações de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn); para as amostras do Ensaio 5 (peneira 5 – malha 0,25 mm).

AMOSTRA	N (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Cu (mg.L ⁻¹)	Fe (mg.L ⁻¹)	Mn (mg.L ⁻¹)
EN21	20	6	328	0,1	11,4	4,0
SA101	20	7	348	0,1	12,5	4,0
SA102	22	8	488	0,1	11,3	5,1
SA103	17	9	532	0,1	11,2	5,4
SA104	22	10	548	0,1	12,1	5,5
SA105	21	9	536	0,1	12,6	5,6
EN22	18	7	384	0,1	12,0	4,1
SA106	24	9	536	0,1	11,6	5,5
SA107	20	9	544	0,1	11,8	5,5
SA108	25	9	544	0,1	12,4	5,6
SA109	24	9	528	0,1	12,0	5,4
SA110	25	10	532	0,1	18,9	5,7
EN23	21	9	508	0,1	12,1	5,4
SA111	22	9	528	0,1	11,8	5,4
SA112	24	9	520	0,1	12,0	5,4
SA113	22	9	476	0,1	11,8	5,1
SA114	24	9	532	0,1	11,8	5,5
SA115	22	10	512	0,1	12,3	5,5
EN24	22	9	528	0,1	12,2	5,5
SA116	22	9	480	0,1	12,4	5,3
SA117	27	9	512	0,1	12,6	5,5
SA118	25	9	512	0,1	12,8	5,4
SA119	25	10	512	0,1	12,4	5,4
SA120	22	10	500	0,1	12,2	5,2
EN25	23	9	492	0,1	12,4	5,2
SA121	21	10	504	0,1	12,4	5,4
SA122	27	9	420	0,1	12,4	5,6
SA123	20	11	252	0,1	12,0	5,7
SA124	23	11	276	0,1	11,7	5,6
SA125	22	11	292	0,1	12,2	5,7

6.8 Ensaios extras

Os resultados obtidos nas análises das variáveis escolhidas para serem determinadas nos Ensaios Extras estão apresentados nos Quadros 25, 26 e 27 podendo-se observar que foram alcançadas reduções satisfatórias.

Quadro 25 - Resultados das análises de Sólidos Totais (ST) para amostras do Ensaio Extra 1 (peneira 5 – malha 0,25 mm).

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	REDUÇÃO (%)
		S-EN1	1238	_*_*_
70,1	13	S-SA1	568	54,1
	33	S-SA2	607	51,0
	53	S-SA3	546	55,9
94,7	13	S-SA4	675	45,5
	33	S-SA5	693	44,0
	53	S-SA6	715	42,2
173,5	13	S-SA7	803	35,1
	33	S-SA8	860	30,5
	53	S-SA9	867	30,0

Quadro 26 - Resultados das análises de Sólidos Totais (ST) para amostras do Ensaio Extra 2 (peneira 4 – malha 0,50 mm).

Vazão entrada (mL.s ⁻¹)	Rotação peneira (rpm)	Amostra	ST (g.m ⁻³)	REDUÇÃO (%)
		S-EN2	852	_*_*_
71,8	13	S-SA10	558	34,5
	33	S-SA11	641	24,8
	53	S-SA12	518	39,2
		S-EN2a	957	_*_*_
100,4	13	S-SA13	635	33,6
	33	S-SA14	663	30,7
	53	S-SA15	683	28,6
169,2	13	S-SA16	667	30,3
	33	S-SA17	676	29,4
	53	S-SA18	820	14,3

Quadro 27 - Resultados das análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para amostras dos Ensaios Extras 1 e 2.

Amostra E.Extra 1	DQO (mg.L ⁻¹)	REDUÇÃO (%)	Amostra E. Extra 2	DQO (mg.L ⁻¹)	REDUÇÃO (%)
S-EN1	2131	---	S-EN2	2034	---
S-SA1	860	59,6	S-SA10	1208	40,6
S-SA2	902	57,7	S-SA11	986	51,5
S-SA3	870	59,2	S-SA12	793	61,0
S-SA4	849	60,1	S-EN3	1281	---
S-SA5	1455	31,7	S-SA13	1187	7,4
S-SA6	918	56,9	S-SA14	1034	19,3
S-SA7	1051	50,7	S-SA15	1009	21,3
S-SA8	---	---	S-SA16	1120	12,6
S-SA9	1667	21,8	S-SA17	---	---
			S-SA18	1279	0,2

Os números assinalados em negrito, indicam uma redução satisfatória e aparentemente significativa e as linhas sombreadas demonstram a melhor performance de redução obtida.

Pode-se perceber pelos sombreamentos das linhas nos Quadros 25 e 26 que, para os sólido totais, a combinação que melhor se comportou foi a da menor vazão de entrada com a maior rotação de peneira, sendo, S-SA3 e S-SA12 para os Ensaios Extras 1 e 2 respectivamente.

Porém percebe-se que para redução da DQO, a peneira 5 (Ensaio Extra 1) se comporta de modo considerável (Quadro 27), principalmente nas rotações menores, indicadas pelo sombreamento. No mesmo quadro, para a peneira 4 (Ensaio Extra 2), o ponto já referido anteriormente (S-SA12) volta a se destacar, dando margem para se concluir que para tal peneira a combinação menor vazão e maior rotação seria a mais indicada.

7. CONCLUSÃO

Ao observar os resultados das análises realizadas nas amostras de entrada e de saída, fica claro que o sistema de peneiramento, proposto pelo presente trabalho, não apresenta comportamento satisfatório no tocante a redução da carga poluidora dos efluentes de indústrias de chapa dura de fibra de madeira. Contrariando as recomendações dos pesquisadores franceses do CIRAD que, baseados na aparente presença de elevadas quantidades de sólidos em suspensão no efluente, afirmaram que um sistema de peneiramento simples reduziria consideravelmente a carga poluidora desse despejo.

Porém, nos dados obtidos para as variáveis Sólidos Dissolvidos e Sólidos em Suspensão pode-se perceber uma maior ocorrência de Dissolvidos (em torno de 90%) em relação aos Suspensos, deixando clara a inviabilidade da aplicação do peneiramento para efluentes dessa natureza ou com características semelhantes, já que a função única das

peneiras é a retenção dos Sólidos em Suspensão, independentemente das dimensões das partículas e das malhas.

Apesar disso, não se deve descartar a hipótese de se utilizar o peneiramento em situações onde os despejos a serem tratados apresentem grandes quantidades de partículas sólidas em suspensão, principalmente quando se sabe as dimensões dessas partículas, pois os Ensaio Extras realizados com serragem de dimensões conhecidas, em suspensão, revelaram uma atuação satisfatória do sistema ora proposto.

8 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEAS. *Encontro nacional: Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável - Agenda 21* - Cap. 18. Relatório final. Brasília, ABEAS, 1996. 107p.

ABRH-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. *Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. São Paulo, 1997. 64p.

AJZEMBERG, M.G., AIROLDI, E. Perspectivas do abastecimento de água na RMSP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 18, 1995, São Paulo. *Trabalhos apresentados ...* São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1995. (cd-rom).

AMORIM, R.F.C. *Transporte de material sólido e assoreamento em reservatórios de pequenas barragens de terra na região central do estado de São Paulo*. Botucatu, 1999. 127 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

ANÔNIMO. Produtor vai pagar caro pela água que usa. *Trator e implementos*, 1(1): 4, 1991.

ANÔNIMO. Botucatu está entre as melhores cidades do estado para se viver bem, *Jornal de Botucatu*, Botucatu, 06 nov. 1999, p.2.

ARCE, R.B. *Otimização de um projeto hidro-agrícola no município de Guaíra-SP, utilizando programação linear*. Piracicaba: 1990. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

AYERS, R.S., WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos da FAO)

AZEVEDO NETTO, J.M., ALVARES, G.A. *Manual de hidráulica*. 7^a ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1988. 724p.

BARTH, F.T., POMPEU, C.T., FILL, H.D., TUCCI, C.E.M., KELMAN, J., BRAGA JR, B.P.F. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo, Ed. NOBEL/ABRH, 1987. 526 p..

BENICASA, M., ORTOLANI, A.F., LUCAS JR., J. *Biodigestores convencionais*. Jaboticabal, Boletim Técnico 8, FCAVJ, UNESP, 1986. 25 p..

BERTHET, B. *L'eau rare. Pomme de Terre Française*, 376(85): p. 3-5, 1976.

BERTHET, B. Coefficient de degradation de la charge bacterienne en Presqu'île Guerandaise. In:___ SEMINAIRE L'ÉPURATION PAR LAGUNAGE. Ed. Cerete. Montpellier, France, p. 4, 1982.

BLAKE, G. Utilization des plantes vasculaires aquatiques en lagunage. In:___ SEMINAIRE L'ÉPURATION PAR LAGUNAGE. Ed. Cerete. Montpellier, France, p. 5, 1982.

BRAILE, P.M. *Disposição de efluentes sobre o terreno*. In:___ Manual de tratamento de águas residuárias industriais. CETESB, São Paulo, 1979. p. 565-601.

BRASIL. *Legislação federal: controle da poluição ambiental*. São Paulo: CETESB, 1995. 213p. (Série Documentos) .

CABRAL, B. *Legislação Estadual de Recursos Hídricos*. Senado Federal: Brasília, 1997.

2v.

CAPOZOLI, U. Escassez é o grande temor do futuro, *O Estado de São Paulo*, São Paulo, 19 out 1997, Cidades, p. C3.

CONTE, M. de L. *Espécies químicas dissolvidas no Ribeirão Lavapés, Botucatu - SP*. Botucatu, 1992. 123p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CONTE, M. de L. *Aspectos quantitativos e qualitativos das águas da bacia experimental do rio Pardo – região de Botucatu, SP* – Botucatu, 1999, 157p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CONTE, M. de L., LEOPOLDO, P.R., AMORIM, R.F.C. Uso da taboa na remoção de carga poluidora originária de efluente doméstico. In: __ CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA RURAL, 2, CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 5, (CLIR98), 1998, La Plata, Anais ... La Plata ALIA. 1998, 6p., (Paper – IRC53) (cd-rom).

CONTE, M. de L., LEOPOLDO, P.R., ZUCCARI, M.L., DAMASCENO, S. Tratamento de águas servidas no meio rural através de processo fito-pedológico: resultados preliminares. In:___ CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. SBEA, Santa Maria, 2: p. 1018-29, 1992.

CONTE, M. de L., LEOPOLDO, P.R. Aspectos de direito ecológico internacional. **Rev. Ciênc. Geogr.**, n.9, AGB-Núcleo Bauru, p.14-16, 1998.

COSTA JR., P.J., GREGÓRI, G. *Direito penal ecológico*. São Paulo: CETESB, 1981. 96p.

FARINET, J.L. *Traitement des effluents des petites et moyennes agro-industries en Amerique Latine*. Montpellier, CIRAD, Rapport de mission en Colombie, Programme VER et URGE, 1995. 17 p..

FARINET, J.L. *Caractérisation et essais de traitement d'effluents industriels*. Rapport de mission CAPES/COFECUB au Brésil, Octobre 1996, Projet 149/94, "Gestion del'eau et des déchets en agriculture tropical", 1996. 25 p..

FARINET, J.L., FOREST, F. Filtration et méthanisation sur support lignocellulosique renouvelé . In:___ CONGRÉS INTERNATIONAL SUR LES TRAITEMENT DES EFFLUENTS VINÍCOLES. Actas, Ed. CEMAGREF, France, p. 203-8, 1994.

GASI, T.M.T. *Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades*. Série Manuais 3, CETESB, São Paulo, 1988. 36 p..

GRANER, C.A.F., ZUCCARI, M.L., PINHO, S.Z. Determinação da demanda química de oxigênio em águas por espectofotometria dos íons crômio (III) e dicromato. ***Eclética Química***, São Paulo, v.23, 1998. (No prelo)

GREGA FILHO, B., BOMBONATTO JR., C. Do saneamento básico ao saneamento ambiental. ***Rev. DAE-SABESP***, v.53, p.4-14, 1993.

GUIMARÃES, A.B., CONTE, M. de L. Processo fito-pedológico para o tratamento de águas servidas. In:___ CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 9, 1997, Jaboticabal, Anais... Jaboticabal, UNESP. 1999, “não pag”.

GUIMARÃES, A.B., BREDAS, C.C., LEOPOLDO, P.R. Papel do Aguapé na despoluição de águas servidas no meio rural. In:___ CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas, Anais ... Pelotas, SBEA. 1999, 5p. (SCA-45 DOC) (cd-rom).

HEGG, R.O., LARSON, R.E., MOORE, J.A. Mechanical liquid-solid separation in beef dairy and swinewaste slurries. ***Transactions of the ASAE*** 24(1): 159-63. St . Joseph, MI. 1981.

HERRERA, O.M. *Caracterização e análise do sistema de abastecimento de água potável no município de Botucatu-SP*. Botucatu, 1996, 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

KAWAY, H., BEZERRA, J.F.M., COSTA, J.R., VIDAL, W.L. *Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização*. Série Manuais 7, CETESB, São Paulo, 1990. 15 p..

LANNA, A.E.L. *Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. 171 p..

LEOPOLDO, P.R., GUIMARÃES, A.B., BREDA, C.C. Tratamento de efluentes domésticos em zona rural através do uso de sistema com plantas aquáticas. In:___ CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas, Anais ... Pelotas, SBEA. 1999, 6p (SCA-19 DOC) (cd-rom).

LEOPOLDO, P.R., HERRERA, O.M. Estimativa do consumo e da demanda em água potável na cidade de Botucatu-SP. In:___ SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. 6p. (298 DOC) (cd-rom).

MANCUSO, P.C.S., SANTOS, H.F, MORITA, D.M. et al. Reuso da água. **Rev. DAE-SABESP**, n. 167, 1992.

MATSUMOTO, T. *Comparação entre filtração ascendente e descendente de água decantada utilizando areia como meio filtrante*. São Carlos, 1987, “não pag.” Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

METCALF & EDDY INC. *Wastewater engineering treatment, diposal and reuse*. 2^a ed. Mc.Graw - Hill, 1979. 920 p..

PAGANINI, W.S. *Disposição de esgotos no solo*. 2. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232 p.

PATERNIANI, J.E.S. *Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento*. São Carlos,Tese,Escola de Engenharia de S. Carlos,USP,1971.

POSTEL, S.L., DAILY, G.C., EHRLICH, P.R. Human appropriation of renewable fresh water. **Science**, 271, 785-8, 1996.

REBOUÇAS, A.C. *Panorama da água doce no Brasil*. In:___ REBOUÇAS, A.C., (org.) *Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil*. São Paulo: IEA/USP, 1997. 150p.

REUTER, J.E., DJOHAN, T., GOLDMAN, C.R. The use of wetlands for nutrient removal from surface runoff in a cold climate region of California - results from a newly constructed wetland at Lake Tahoe. *J. Environ. Manage.*, 35: p. 35-53, 1992.

ROCCO, E.C., BREDA, C.C. *Sistema de disposição de efluente líquido da fábrica Paula Souza - SDEL P.S.* Botucatu, Duratex S/A, Fábrica Paula Souza, 1996. 27 p..

ROSTOM, D.M. Considerações sobre o uso de leitos de macrófitas no tratamento de resíduos de pequenas comunidades rurais. In:___ CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. SBEA, Ilhéus, 5: p. 3062-70, 1993.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente - Coordenadoria de Planejamento Ambiental. *Recursos hídricos: histórico, gestão e planejamento.* São Paulo, 1995. 90p.

SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. *Legislação sobre recursos hídricos.* São Paulo: 1994. 72p.

SHIMADA, P., BIDONE, F.R., ALMEIDA FILHO, M. Estudos de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico na região Centro-Oeste. Cuiabá. *Revista DAE*, 47(150): p. 268-76. 1987..

SILVA, M.O.S.A. *Análise físico-química para controle de estações de tratamento de esgoto*, 18 ed. São Paulo. ABES, 1977, 226p

TEIXEIRA, C., KUTNER, M.B. Plankton studies en a mangrove environment. I. First assessment of a standing stock and principal factors. **Bol. Inst. Oceanogr.** , v.12, n.3, p. 101-24, 1962.

TOLEDO, A.A.G.F. de. *Tratamento de águas residuárias de pocilgas, utilizando biodigestores USAB, sob quatro tempos de retenção hidráulica.* Botucatu, 1996, 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

VIEIRA, S.M.M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. São Paulo, **Revista DAE**, 44(139): p. 322-8, 1984.

ZIRSCHKY, J. *Basic design rational for artificial wetlands.* Contract Report 68-01-7108. EPA, California, 1986.

ZUCCARI, M.L. *Determinação de fatores abióticos e bióticos do Ribeirão Lavapés (Botucatu-SP).* Botucatu, 1992. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.