

Aplicação de macrófitas aquáticas para tratamento de efluente doméstico

Fernando Silva Dias¹
João Paulo Alves do Nascimento²
Janaína Moreira de Meneses³

¹ Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: nandocompaq@hotmail.com

² Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: nandocompaq@hotmail.com

³ Professor. Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: janaina.meneses@fpb.edu.br

RESUMO

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas de forma a reduzir o impacto de lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento nos corpos hídricos, dentre as diversas tecnologias o sistema Wetlands configura-se como uma alternativa viável e de baixo custo. Nesse sentido, a presente pesquisa foi conduzida na vertente do Riacho Mussuré, localizado no bairro dos Funcionários IV, na cidade de João Pessoa. Observou-se que existe despejo de águas residuárias em seu curso, aumentando a carga de nutrientes, levando ao processo de Eutrofização do mesmo. Diversas pesquisas estão sendo feitas em prol do desenvolvimento de tecnologias alternativas naturais de baixo custo (tratamento biológico) para tratamento de águas residuais doméstica, desta forma, o objetivo foi avaliar a eficiência de três espécies de macrófitas aquáticas para tratamento do efluente coletado no riacho Mussuré. Após uma semana de tratamento, foi observado que a macrófita Aguapé foi a espécie que conduziu a uma melhor remoção de poluentes. O experimento teve duração de sete dias, tendo como parâmetros analisados: pH, cor, turbidez, DBO, dióxido de carbono, cloretos e dureza total, coliformes totais e termotolerantes. O sistema de tratamento com a macrófita aguapé, conduziu a uma redução de até 95% de cor, 83% de turbidez e 53% de DBO.

Palavras-chave: Riacho Mussaré; sistema Wetland; macrófitas; águas cinzas.

1 INTRODUÇÃO

A palavra esgoto refere-se a despejos em água após sua utilização nos mais diversos usos. O esgoto sanitário em média é constituído de 99,9% de água e 0,1% são sólidos, e desses sólidos a sua maior parte é constituído de matéria orgânica em decomposição. Segundo a Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN, 2014). Em se tratando dos esgotos domésticos, muitos autores dividem as águas residuárias em dois grupos principais, água cinza e água negra.

Água Cinza é definida conforme TOMAZ (2003), como todo efluente gerado em uma habitação excluindo-se a contribuição das bacias sanitárias. A água cinza pode ser discriminada em água cinza clara e escura. Para MAY (2008), a diferença entre elas se encontra no fato de que a água cinza clara é composta pelo efluente do chuveiro, lavatório e da lavagem de roupas, enquanto que a água cinza escura abrange também o efluente da pia da cozinha.

Já as águas negras são as águas residuárias provenientes dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes e urina, tendo em sua composição elevadas cargas de matéria fecal (GONÇALVES et al., 2006). Alguns autores consideram como água negra também a água residuária de cozinha, devido às grandes

concentrações de matéria orgânica e de óleos e gordura presentes nesses efluentes (REBOUÇAS et al., 2007).

Segundo o INSTITUTO TRATA BRASIL (2014), 383.067 domicílios paraibanos não têm acesso à água tratada, enquanto que outros 948.149 são desprovidos de esgotamento sanitário. A ausência de saneamento básico no Nordeste tem trazido problemas a saúde da população, como internações hospitalares desnecessárias. Na Paraíba em 2012 foram contabilizadas 17.163 faltas ao trabalho decorrente do diagnosticado pela falta de tratamento da água e do esgoto ocasionando diarreia entre a população. E este fato exerce papel negativo no desempenho escolar dos jovens e ainda gera prejuízos à economia e ao turismo.

Um dos fatores que agravam a situação é a falta de investimentos em saneamento básico, pois ocorre uma contínua degradação dos mananciais, sendo a questão da escassez associada não somente ao aspecto quantitativo, mas também à qualidade dos recursos hídricos disponíveis (SAUTCHUK, 2004).

A água potável é utilizada para todos os fins nas edificações, o que ocasiona seu desperdício. Entretanto, apenas 7% de toda água consumida em uma residência necessita ser realmente potável (TOMAZ, 2005). Portanto, torna-se necessário a demanda de efluente tratado para atender usos não nobres, diminuindo o

consumo de água potável e contribuindo com a preservação dos mananciais existentes.

Incentivos de conservação de água potável como o reuso de águas cinzas para a limpeza de vasos sanitários resultaria na economia de 1/3 do consumo doméstico (MONTEIRO, 2009).

LAVRADOR (1987), fez sugestão terminológica em relação ao termo reuso da água, onde tem-se que: reuso planejado de água ocorre através de reutilização do efluente tratado pelo homem de modo consciente, após o ponto de despejo do esgoto utilizando-o de forma direta ou indireta, e está denominação pode ser dividida em reuso de água potável e não-potável.

Reuso potável é definido por tratamento avançado do efluente onde ele pode ser inserido diretamente no sistema de água potável. Já o reuso não potável é definido por apresentar um leque diversificado de utilização, onde não exige tratamento avançado tornando-se economicamente viável, com rápido desenvolvimento. Segundo OKUN (1996), o reuso de água com finalidade não potável é uma opção viável em bairros onde há falta d'água.

A maior parte da água utilizada por indústrias e população em geral, não necessita de ser potável. O reuso da água não potável pode ser realizado para fins recreacionais, em lavagens de maquinários, aproveitamento em lagoas ornamentais ou como irrigação de jardins, campos, praças e etc.

Para conservar a água, é necessário buscar opções para o tratamento dos efluentes que priorizem a manutenção, a qualidade ambiental, a qualidade de vida do ser humano e o uso racional dos recursos naturais, fundamentados nos princípios e conceitos da sustentabilidade (FAGUNDES e SCHERER, 2009).

Para CASAN (2012), existem diversas tecnologias para tratar os efluentes domésticos. Nas grandes cidades, as empresas responsáveis pelo tratamento dos esgotos sanitários preferem utilizar as lagoas de estabilização, que consiste em um processo natural de despoluição das águas residuais domésticas. Neste tipo de tratamento o objetivo é retirar matéria orgânica dos efluentes e, podem ser classificadas em três tipos: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias e lagoas de maturação. A vantagem de sua implantação dar-se por ter melhor adaptação às condições climáticas favoráveis, fácil operação e utiliza poucos equipamentos. Porém, possui a desvantagem de apresentar baixa eficiência, removendo apenas 60% de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) com dependência da temperatura.

Na SABESP-SP (Companhia de saneamento do estado de São Paulo), o sistema utilizado é o de lodos ativados, que é resultado de processos biológicos. Neste tratamento o efluente, entra em contato com o oxigênio dissolvido, a agitação mecânica atua no aumento e atuação de micróbios específicos, formando focos denominados de lodo biológico ou lodo ativado. Este tratamento tem como vantagens a exigência de pouca área para implantação, maior eficiência no tratamento e maior flexibilidade de operação. As desvantagens são: custo operacional elevado, controle laboratorial diário e operação mais delicada (CASAN, 2012).

Outro processo bastante utilizado no sudeste do país é o de reatores anaeróbios. Neste processo, o tratamento promove a decomposição da matéria orgânica encontrada nos esgotos sanitários pela ação de bactérias anaeróbias contidas no manto de lodo formado no fundo do reator. Os reatores anaeróbios têm como principais vantagens a geração de lodo em pequena quantidade, moderado consumo de energia elétrica, área relativamente pequena para sua operação e baixo custo de implantação. Suas principais desvantagens no tratamento se justificam pelo fato de que as bactérias são inibidas por um maior número de compostos e a partida do reator pode ser lenta na ausência de lodo adaptado, existe a possibilidade de geração de odores e de um efluente com aspecto desagradável e pode haver mudanças nas condições ambientais.

Entre os muitos sistemas de tratamento de efluentes existentes, podemos destacar aqueles que utilizam macrófitas aquáticas visando à melhoria da qualidade de águas residuais, principalmente, buscando a redução das cargas de poluentes inorgânicos, metais pesados, substâncias tóxicas, além de microrganismos patogênicos, como os coliformes termotolerantes e a *Escherichia coli* (ALMEIDA e ALMEIDA, 2005; DINIZ et al.).

Esta tecnologia alternativa de tratamento consegue aproveitar o ambiente de solo alagado, onde a rizoma das plantas são responsáveis pela despoluição das águas residuais e podem executar funções semelhantes ao tratamento convencional dos esgotos domésticos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. (SILVA, 2007). Segundo GRANATO (1995), a utilização destas plantas como "agente purificador" justifica-se pela intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, além do fato de oferecer facilidades de sua retirada das lagoas bem como possibilidades de aproveitamento da biomassa colhida.

Dentro desta tecnologia de tratamento de efluente utilizando macrófitas, tem-se a denominação "wetland", que é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. Segundo a Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (2006), os "wetlands" são facilmente reconhecidos na natureza como as várzeas dos rios, os igapós da Amazônia, os banhados, os pântanos, os manguezais; entre outros.

Para se tratar efluente tem-se os wetlands construídos estes são sistemas composto por plantas em local artificial com diferentes aplicações em ambientes eutrofizados, maximizando o processo de despoluição, partindo de princípios básicos de alteração da qualidade da água onde sua principal diferenciação do encontrado na natureza definira-se pelo tempo de detenção hidráulica que nos wetlands naturais não pode ser controlada.

Para a Environmental Protection Agency (2000), Wetlands construídos são sistemas atendam a filtragem de águas residuais constituídos por uma ou mais células de tratamento em conjunto e construído entre meio artificial de modo controlado gerado e construído para

tratar efluentes. Nos wetlands construídos têm se aplicado para tratar vários tipos de esgotos em diferentes tipos de tratamento, os wetlands construídos expostos, dispõe de utilizar o tratamento secundário a águas residuais de uma cidade. Estes sistemas de filtragem fazem a captação dos efluentes primários e trata-os com efluente secundário, em contraste com sistemas de zonas úmidas, que recebem efluente secundário onde se trata o efluente muito mais de modo a analisar o seu lançamento para o meio ambiente. É importante ressaltar o grau de tratamento que seus meios de tratar, pois a construído wetlands opera com maior resistência a águas residuais.

As macrófitas aquáticas são plantas herbáceas que originalmente eram vegetais terrestres, porém ao longo de sua evolução sofreram modificações para se adaptar e colonizar ambientes aquáticos (CANCIAN, 2007). Estas plantas podem colonizar os mais diferentes habitats desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos podendo ser classificadas em submersas, emergentes, com folhas flutuantes e flutuantes livres (ESTEVES, 1998).

Tratamentos alternativos para águas residuais usando macrófitas Aquáticas na filtragem e ciclagens de nutrientes têm sua eficiência comprovada e geram baixo impacto ambiental. Estes tratamentos são bastante conhecidos no meio acadêmico, porém, pouco aplicados. Tratamentos convencionais ou alternativos necessitam de estudos básicos como analisar os fatores abióticos atuantes (clima, qualidade do solo, qualidade do efluente e etc.) com Macrófitas Aquáticas a demanda por estas tecnologias.

As macrófitas aquáticas podem ser utilizadas como biofiltros para a remoção de microrganismos patogênicos da água, especialmente no tratamento das águas cinza e negra. Isso se dá pela alta concentração de matéria orgânica, permitindo a liberação de um efluente com menores níveis de contaminantes em corpos receptores ou melhorando a qualidade da água a ser reutilizada.

Estudos relacionados às macrófitas aquáticas demonstram que a produtividade primária destes vegetais estão diretamente relacionadas à temperatura, luminosidade e com a disponibilidade de nutrientes (BIUDES & CAMARGO, 2006). CAMARGO et al. (2003), em estudo objetivando verificar a proliferação de macrófitas aquáticas flutuantes, constatou que as maiores taxas de foram observadas em ambientes ricos em nutrientes.

Segundo BIUDES & CAMARGO (2006), a remoção de nitrogênio e fósforo do efluente, ocorre por meio de processos biológicos de absorção direta, mineralização microbológica e reações de desnitrificação e amonificação. No processo de absorção direta das macrófitas está a rizosfera das plantas região de maior captação do efluente e em algumas espécies a absorção dos nutrientes também ocorre por meio das folhas no processo de fotossíntese.

As macrófitas aquáticas podem ser empregadas como biofiltros para a remoção de microrganismos patogênicos da água, especialmente, no tratamento das

águas cinza e negra, permitindo a liberação de efluente com menor contaminação microbológica nos corpos receptores ou melhorando a qualidade da água a ser reutilizada.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é monitorar e avaliar a eficiência de três macrófitas aquáticas na remoção dos poluentes presentes no efluente doméstico (água cinza e negra) em sistema de tratamento tipo wetland construído em escala laboratorial, utilizando espécies nativas, bem como sugerir a sua aplicação em área desprovida de sistemas de coleta de esgoto sanitário.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

O local escolhido para o estudo foi a bacia do riacho Mussuré que está inserida na sub-bacia do rio Gramame, localizada entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul, as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste (SOUSA, 2012). Situando na região Sul de João Pessoa - PB, o riacho nasce nas proximidades do Bairro dos Funcionários IV onde recebe uma carga de efluente doméstico da população que reside na região e à qual não possui estrutura de rede coletora de esgoto, segue seu curso pelos bairros circunvizinhos, e segue cruzando a BR 101 chegando ao Bairro das Indústrias, onde está localizado o Distrito Industrial de João Pessoa. As Figuras 1 e 2 representam a região geográfica da área de estudo.

Figura 1 – Localização da região de estudo.



Fonte: <https://www.google.com.br/maps>.

Figura 2 – localização e curso do riacho Mussuré



Fonte: ABRAHÃO (2006)

2.2 Etapas metodológicas do tratamento do efluente

O sistema de tratamento empregado no presente estudo foi do tipo Wetlands, que foi constituído de três reservatórios com dimensões de 25 cm x 35 cm x 25 cm, com volume médio aproximado de 20 L de efluente em cada tanque.

Nos tanques foi inserida a mesma amostra de efluente coletado no riacho Mussuré. Para isso, as amostras foram coletadas a 16 metros a jusante do ponto fixo de lançamento, por apresentar melhor ponto de coleta e maior profundidade, onde seria retirada maior quantidade de sólidos grosseiros, observados no momento da coleta esgoto doméstico.

Após a coleta do efluente todos os tanques foram lavados com o próprio efluente bruto e preenchidos com o efluente.

Amostras de efluente bruto também foram coletadas para realização das análises em laboratório. Para essa coleta utilizou-se de equipamentos de proteção individual (luvas plásticas, óculos de proteção e calçado de borracha) de forma a não ocorrer contaminação nas amostras coletadas. Além disto, para evitar a introdução de contaminantes superficiais, as amostras foram coletadas a cerca de 20 cm abaixo da superfície da água. Em sentido contrário à corrente. Os frascos com as amostras foram etiquetados e identificados, e as análises foram realizadas dentro dos prazos de validade estabelecidos pelas normas.

Após inserir o efluente nos tanques, uma espécie de macrófita aquática foi colocada em cada, e identificada.

No tanque 1 foi introduzida Lentilha-de-água (*Lemna, Spirodela*), no tanque 2 foi introduzido a Alface D'Água (*Pistia stratiotes*) e no tanque 3 foi introduzida Aguapé (*Eichhornia crassipes*). Para avaliar a capacidade do efluente de autodepuração, foi adicionada em um quarto tanque a mesma quantidade de efluente que a dos demais tanques, porém sem a presença de macrófitas. Isso foi realizado com o objetivo de confrontar os resultados obtidos nos tanques com as plantas.

O sistema de tratamento operou em sistema batelada com TDH de 7 dias. Foram dispostas em local onde ocorria a incidência de sol, e abrigado da chuva. Na Figura 3 pode-se observar a disposição das macrófitas nos tanques.

Figura 3- disposição das macrófitas do tanque



Fonte: Autor

Os procedimentos seguidos para a coleta das amostras para avaliar a influência de cada macrófita no tratamento do efluente foi realizado da seguinte forma: após 7 dias de tratamento foram coletadas amostras dos três tanques com o volume suficiente de amostra para eventual necessidade de se repetir alguma análise no laboratório. Nestas amostras foram retiradas folhas, partículas grandes, detritos ou outro tipo de material acidental, de forma a não influenciar nas análises.

2.3 Análise das amostras de efluente coletadas

As análises foram realizadas no mesmo dia em que as amostras foram coletadas. Os parâmetros analisados durante o monitoramento foram: pH, cor, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica, oxigênio consumido, dióxido de carbono, coliformes totais e coliformes fecais e as análises foram conduzidas de acordo com manual de saneamento (FUNASA, 1999).

Para a realização das análises microbiológicas no efluente bruto e tratado nesta etapa inicial do experimento, foram utilizados 4 tipos de ensaios, de forma a observar quais destes procedimentos melhor se adequava as condições existentes em laboratório. As metodologias empregadas foram: de substrato cromogênico com cartela selada, disco-difusão, membrana filtrante e tubos múltiplos.

A técnica do substrato cromogênico fluorogênico é baseada nas atividades enzimáticas específicas dos coliformes (β galactosidade) e *E. coli* (β glucoronidase). Os meios de cultura contêm nutrientes indicadores (substrato cromogênico) que, hidrolisados pelas enzimas específicas dos coliformes e/ou *E. coli*, provocam uma mudança de cor no meio. Após o período de incubação, se a cor amarela for observada, coliformes totais estão presentes. Se a fluorescência azul for observada sob luz ultravioleta (UV) 365 nm, *E. coli* está presente. Além da maior precisão, esse método tem como vantagem o tempo de resposta, já que a determinação simultânea de Coliformes Totais e *E. coli* é efetuada após incubação das amostras a 35°C por 24 horas, não havendo necessidade de ensaios confirmativos.

Acrescenta-se o conteúdo de um (1) frascote de substrato cromogênico em frasco contendo 100 mL de cada amostra e homogeneiza com o meio de cultura. Em seguida, o conteúdo é transferido para a cartela que é selada, identificada e incubada a 35°C por 24 horas. O resultado é expresso em NMP/100 mL, de coliformes totais e *Escherichia coli*.

A técnica de disco-difusor é um método qualitativo, que consiste na deposição de um disco de papel impregnado com o antimicrobiano no meio de cultura e em placa previamente semeada com suspensão da bactéria em estudo.

Já a técnica de Membrana Filtrante, baseia-se na filtração de volumes adequados da amostra de água, através de membrana filtrante com porosidade adequada. As bactérias a serem detectadas apresentam dimensões maiores e ficarão retidas na superfície da membrana a qual é então transferida para uma placa de

Petri contendo o meio de cultura seletivo e diferencial. Por capilaridade, o meio difunde-se para a membrana, entrando em contato com as bactérias e, após o período determinado de incubação, desenvolvem-se colônias com características típicas, que poderão ser observadas com o auxílio de um microscópio. Assim, permite determinar o número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) dos microrganismos alvo na amostra. A partir da contagem destas colônias, calcula-se a densidade de coliformes presentes na amostra (CETESB, 1993).

Por fim, também foi utilizada a técnica de Tubos Múltiplos, visto que este é um método de análise qualitativa e quantitativa que permite determinar o número mais provável (NMP) dos microrganismos de interesse, pela estimativa da densidade de bactérias em uma amostra, calculada a partir dos resultados positivos obtidos por diluições sucessivas da amostra e distribuição de alíquotas em uma série de tubos contendo meios de cultura seletivos e diferenciais. Neste método, a cultura é diluída até um ponto em que as amostras da diluição, quando semeadas em meio apropriado, não apresentam crescimento (CETESB, 1998). O método se baseia em testes presuntivos e confirmativos e os resultados são obtidos por meio de tabelas do Standard Methods, correspondente às diluições utilizadas.

2.4 Observação do enquadramento do efluente tratado com a legislação vigente

A Resolução CONAMA 430/II em seu art. 12, estabelece as condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

Nesta etapa foi proposto o reuso planejado para o efluente tratado, com características físico-química e microbiológica que não propiciem riscos à saúde do usuário, tendo em vista, a adequação da qualidade da água às exigências dos usos não potável, além do benefício de não utilizar energia elétrica ou produtos químicos como os demais tratamentos convencionais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em decorrência da área estudada, apresentar uma vegetação predominante de mata ciliar que fica em torno do córrego, que além do papel de proteger as margens da erosão e do ressecamento dos barrancos, evitando o estreitamento de seus leitos e facilitando a infiltração da água também terá influência benéfica na qualidade da mesma. Em sua localização o índice de poluição dos recursos hídricos é elevado, recebendo esgoto não tratado das residências.

O córrego segue seu curso onde se encontra com o rio Mumbaba (Fig. 1) que por fim deságua no rio Gramame. O índice de poluição vem aumentando com o

passar dos anos, devido à industrialização da cidade de João Pessoa. Há ainda um agravamento da degradação da bacia do rio Gramame, causado pela grande irregularidade na distribuição da precipitação que ocorre na região da bacia e a baixa vazão desses cursos d'água, que não poderiam ser usados como diluidores de despejos.

Na figura 4 observa-se a imagem do local referente a nascente do riacho Mussuré, observou-se que junto a este encontra-se tubulação de águas pluviais, bem como tubulação de esgotos domésticos sendo lançado diretamente no riacho. A companhia de água e esgoto do estado tem o conhecimento sobre a este problema de lançamento de efluente em local inadequado, conforme relatado por moradores.

Figura 4 - Lançamento pontual



Fonte: Autor

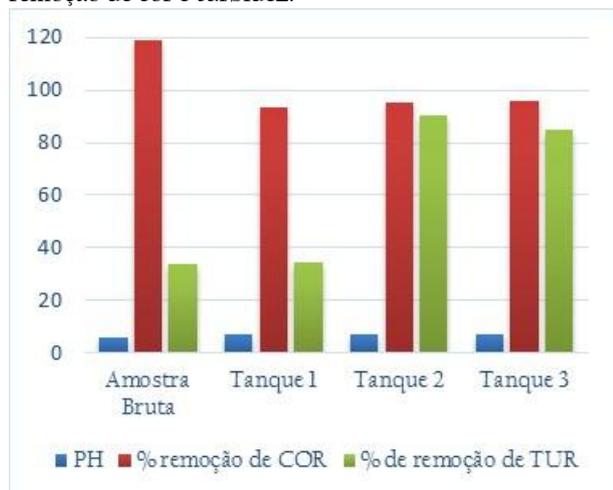
A área de estudo do presente trabalho foi um lixão na década de 1990, onde recebia resíduos sólidos urbanos da população do bairro dos Funcionários IV e também dos Bairros circunvizinhos. Observou-se também que ainda ocorre o descarte de resíduos sólidos da população em torno do riacho.

O sistema de tratamento começou a operar no dia 01/09/2015 e, foram realizadas 18 análises de monitoramento referentes a coleta de amostras brutas e nos três tanques de tratamento, bem como no tanque sem macrófita, de forma a avaliar se ocorre algum processo de autodepuração do efluente sem as macrófitas.

Nos gráficos 1 e 2 são apresentados os resultados encontrados para os três tanques de tratamento, e amostra bruta, observando se estas estão de acordo com a Resolução CONAMA 430/II e 357/05.

No gráfico 1, observou-se os resultados para a remoção de cor e turbidez, bem como a melhora do pH das amostras. O efluente bruto apresentou valor de turbidez de 119 UT, e cor de 34 mg Pt/L, desses valores, somente a turbidez está em desacordo com a legislação, nº 357/05 não se enquadrando em nenhuma classe.

Gráfico 1 – Resultados de análises físico-química do efluente após 7 dias de tratamento, para eficiência de remoção de cor e turbidez.



Fonte: Autor

Antes e após o tratamento o pH manteve-se neutro apresentando valores entre 6 e 7, a macrófita que apresentou melhor resultado foi a que estava no tanque 3 (aguapé) com pH 7. A resolução CONAMA nº 430/11 estabelece que o pH do efluente a ser lançado em um corpo hídrico deve estar entre 5 e 9, fator observado neste caso.

Na amostra bruta, verificou-se que a turbidez estava em 34 UT, podendo este valor estar relacionado a um indicativo de erosão hidrossedimentar na área de estudo, processo final pelo qual ocorre a erosão hídrica, depois de ter ocorrido a desagregação e o transporte do solo. Após o tratamento com a macrófita presente no tanque 2, o valor da turbidez alcançou o índice de 3,2 UT, e conforme a resolução CONAMA nº 357/05 exposta na tabela 1, observa-se que o parâmetro encontrado estar relacionado estabelece parâmetros para turbidez de acordo com a classe da água conforme tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetro de turbidez de acordo com as classes da água, definidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Classe	Turbidez
I	Até 40 UNT
II	Até 100 UNT
III	Até 100 UNT

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA 357/05

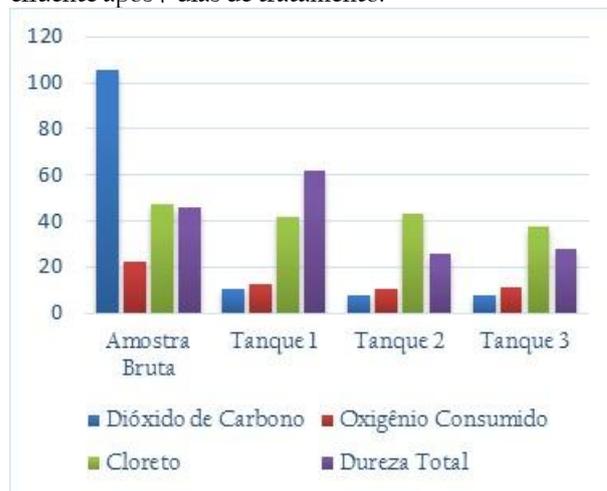
Na Amostra bruta o maior valor obtido nas análises foi a da cor atingindo um valor de 119 mg Pt/L onde a macrófita presente no tanque 3 apresentou maior eficiência de remoção da cor chegando a 4,9 mg Pt/L. A resolução CONAMA nº 357/05 estabelece parâmetros para cor de acordo com a classe da água conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Parâmetro de cor, de acordo com as classes da água, definidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Classe	Cor
I	Nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L
II	Até 75 mg Pt/L
III	Até 75 mg Pt/L

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA 357/05

Gráfico 2 – Resultados de análises físico química do efluente após 7 dias de tratamento.



Fonte: Autor

Na amostra bruta o valor de CO₂ foi de 105,6 mg/l, no tratamento do dióxido de carbono a planta 3 apresenta melhor resultado de 9 mg/l o CO₂ em estudo é um grande aliado das plantas no tratamento pois tem papel importante na fotossíntese das macrófitas à sua quantidade em inversa à concentração do pH portando quando menor for o dióxido de carbono presente na água maior será o pH.

Antes do tratamento o valor da DBO era de 22,5 mg/l e após o tratamento apresentou redução em todas as plantas, apresentou uma capacidade da retirada da massa orgânica o oxigênio dissolvido na água esta retirada não acontece diretamente pelo composto orgânico, mas sim é resultado da atividade de micro-organismos que se alimentam da matéria orgânica, no tratamento a que teve melhor resultado foi a planta 2 com 10,3 mg/l. Análise essa que tem grande importância em se saber o quanto de oxigênio precisara para consumir a matéria orgânica.

O cloreto é um dos principais ânions inorgânicos presentes na água e sua concentração é maior em águas residuais que em água bruta, pois o cloreto de sódio (NaCl) é um sal comumente usado na dieta humana e passa pelo sistema digestivo. Em águas residuais domesticas as concentrações podem ultrapassar 15 mg/L (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1987).

Antes e após o tratamento, os níveis de cloreto não ultrapassaram 250 mg/l, limite máximo determinado pela portaria do ministério da saúde 518/2004, que estabelece padrões de fornecimento de água potável.

A planta 3 (Aguapé) obteve melhor resultado, partindo de 47,5 e chegando 37,3 mg/l, após 7 dias de tratamento. Isso acontece porque a macrófita filtra, absorve e elimina parte do cloreto pela evapotranspiração, processo no qual as plantas ou solo perde água para atmosfera através da transpiração. Enquanto a outra parte é utilizada em seus processos metabólicos, como a Fotossíntese.

A redução do cloreto em águas residuais tem grande importância, pois, altas concentrações resultam na formação de crostas nas tubulações podendo barrar o fluxo normal do efluente.

Tratamentos convencionais não conseguem reduzir a concentração de cloretos. Logo, o tratamento com macrófitas aquáticas é uma alternativa barata e se mostrou superior a tratamentos convencionais sendo comparado a tratamentos avançados como osmose reversa, e membrana.

Antes e após o tratamento a dureza total manteve-se branda com valores entre 15 a 50 mg/l CaCO₃, a única não conformidade acontece na planta 1 que aumenta a dureza total ao invés de reduzir, o melhor desempenho está na planta 2 com 28 mg/l CaCO₃. As águas duras são aquelas que exigem grandes quantidades de sabão para produzir espuma de modo que este parâmetro tem influência em Indústrias de beneficiamento de tecidos que precisam atender aspectos de limpeza. Em fabricas que utilizam caldeiras, a dureza permanente de sais minerais, atua na corrosão e incrustação de máquinas. Portanto, o tratamento com as macrófitas apresentam resultados positivos nesse parâmetro.

Ao termino do tratamento, observou-se que algumas plantas sofreram mais que outras devido a condições climáticas e exposição ao efluente bruto.

Quadro 1: Relação de adaptação de macrófitas as condições climáticas

Descrição	Macrófita	Imagem
Ao termino do tratamento, apresentou grande quantidade de plantas mortas, resultante de 21 dias em condições de stress e incidência solar alta.	Planta 1 - lentilha-de-água (Lemna Spirodela)	
Apresentou adaptação moderada as condições de stress e incidência solar alta com algumas folhas amareladas aos 21 dias de tratamento.	Planta 2 - Alface d'agua (Pistia stratiotes)	
Melhor desempenho nas condições climáticas e ao efluente bruto, apresentadas pelas flores que são indicativos de adaptação no período de 21 dias.	Planta 3 - Aguapé (Eichhornia crassipes)	

Fonte: Autor

A partir dos resultados apresentados na tabela 3, pode-se sugerir que as macrófitas Lemna Spirodela, Pistia Stratiotes e Eichhornia crassipes, funcionaram como um filtro removendo bactérias presentes no

efluente do tanque, pois apresentou redução da concentração de coliformes termotolerantes e fecal.

Tabela 3: Resultados análises microbiológicas antes e após o tratamento

Data / Semana	Tanque	Microbiológicas	Resultado	Quantidade	Método
01/09/2015 /Zero	1,2,3	Coliformes Termotolerantes*	Presença	>2.116 UFC*	Disco
08/09/2015 /Um	1,2,3	Coliformes Termotolerantes	Presença	>2.116 UFC	Cartela Selada
15/09/2015 /Dois	1	Coliformes Termotolerantes	Presença	<20 UFC	Membrana Filtrante
15/09/2015 /Dois	2,3	Coliformes Termotolerantes	Presença	30 UFC	Membrana Filtrante
22/09/2015 / Três	1,2,3	Coliformes Termotolerantes	Ausência	0 UFC	Membrana Filtrante
22/09/2015 / Três	Amostra Branca	Coliformes Termotolerantes	Ausência	0 UFC	Membrana Filtrante

Fonte: Autor

Obs.: *UFC: Unidades formadoras de colônias

Nas análises microbiológicas realizadas em paralelo ao físico-químico. Nas respectivas 3 semanas realizaram-se em decorridas 24 horas a incubação das amostras. O material analisado apresentou coloração amarelada, significando presença de Coliformes Totais na amostra. Com o auxílio de uma lâmpada ultravioleta

365 nm aproximando a lâmpada ao frasco, constatou-se fluorescência azul nas amostras que desenvolveram coloração amarelada. A amostra apresentou coloração amarelada e fluorescência com a luz UV-365, nm significando que há presença de Escherichia coli.

Segundo Diniz et al. (2005), as macrófitas exerceram efeito filtrante significativo sobre bactérias

indicadoras de poluição fecal devido suas raízes ficarem cobertas com material orgânico e mucilaginoso permitindo a formação da comunidade perifítica conforme o observado nas raízes das macrófitas utilizadas neste trabalho.

O projeto inicial visava avaliar qual macrófita entre as três estudadas teria melhor desempenho no decorrer de três semanas. Porém, já na terceira semana, tanto nos tanques submetidos ao tratamento com macrófitas quanto no tanque da Água Branca, os resultados demonstraram ausência para bactérias termotolerantes. Após resultados preliminares, foi verificado na literatura que quatro semanas para sistemas de tratamento convencional ou alternativo de esgoto doméstico é inviável. Visto que, conforme visita realizada a ETE da companhia de água e esgoto do estado (localizado no bairro de Mangabeira em João Pessoa), o químico responsável pelo setor relata que para tratar efluente doméstico o tempo máximo realizado pelas empresas é de 12 dias.

Os primeiros resultados serviram como base para avaliar qual entre as três espécies obteve melhor desempenho no tratamento. A macrófita aguapé foi a que obteve melhor resultado, tanto nas análises físico-químicas quanto nas microbiológicas.

Verificou-se a necessidade de realizar análises na amostra branca (efluente não submetido ao tratamento), nas respectivas semanas do tratamento.

Na amostra do tanque onde continha a planta aguapé, verificou-se que a quantidade de *Escherichia coli* e coliformes totais presentes no efluente submetido ao tratamento não apresentava contaminação por coliforme fecal, e sim por outros microrganismos. Com esse resultado é possível sugerir outros estudos para identificar quais microrganismos estariam presente nesse efluente.

Diante de toda a pesquisa apresentada, sugere-se o projeto FITOETE, que surge como alternativa biológica e sustentável para remediar corpos hídricos que sofrem com contribuições de efluentes domésticos, fato corriqueiro na maioria das cidades brasileiras.

A presente proposta consiste em desviar o curso do corpo hídrico (riacho Mussuré) e submeter às águas contaminadas com esgoto doméstico ao tratamento com macrófitas aquáticas. Visto que foi comprovado, estas macrófitas têm a capacidade de retirar matéria orgânica, bactérias, reduzir DBO e DQO e retirar metais pesados em ambientes aquáticos.

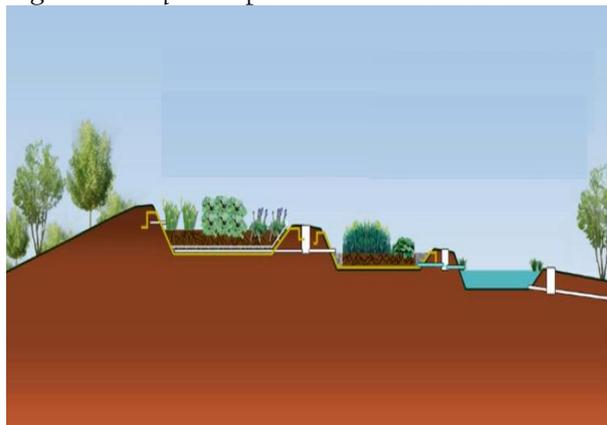
3.1 Sugestão de implantação e operação

A sugestão da FITOETE não irá interferir na biota do local referenciado, haja vista que a instalação deverá operar na área desprovida de mata ciliar.

O sistema consistirá na construção de 3 células em série (Fig. 5).

- Corte do terreno
- Impermeabilização do solo
- Instalação de dutos e drenos
- Substrato
- Macrófitas

Figura 5 - Esquema operacional da FITOETE.



Fonte: adaptado ><https://www.google.com/search?q=phytoestore+jardins+filtrantes>.

3.2 Esquema de funcionamento

Célula 1- O tratamento começa com o gradeamento, o efluente atravessa verticalmente o substrato, diminuindo a DBO, DQO, e matéria em suspensão, as plantas utilizadas nesse processo serão junco e lírio do brejo.

Célula 2 - Tratamento bacteriológico, o efluente atravessara o substrato horizontalmente concluindo o tratamento da célula anterior DBO, DQO, N, P, Cl, SO₂, a macrófita utilizada nesta etapa será aguapé. A participação de pequenos peixes como a piaba (*Leporinus Obtusidens*), se faz necessário para biomonitoramento da água e controle natural de mosquitos, já que a piaba se alimenta dos ovos do mosquito *Aedes Aegypti* e outros insetos transmissores de doenças.

Célula 3 - Ao término dessa etapa o efluente alcançara característica de desinfecção do esgoto e oxigenação. A planta utilizada na última etapa Lírio Aquático (família das *Nymphaea* spp.).

4 CONCLUSÕES

1. Verificou-se que as macrófitas aquáticas foram eficientes no tratamento de esgoto doméstico.
2. A macrófita Aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi a espécie que obteve melhores resultados físico-químico e bacteriológico.
3. O sistema de tratamento com a macrófita aguapé obteve redução de 95% de cor, 83% de turbidez e 53% de DBO.
4. O sistema de tratamento pode ser utilizado como alternativa eficiente, simples e de baixo custo no tratamento de efluente doméstico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.A.; ALMEIDA, N.A.M. (2005). "Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais". Revista eletrônica de enfermagem, v. 7, n. 3, pp. 306-317.

BIUDES, J. F. V. & CAMARGO, A. F. M. Uso de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes de aquicultura. Universidade Estadual de Paulista. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 03 nov. 2015.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 03 nov. 2015.

_____. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: < <http://dtr2001.saude.gov.br>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M. & BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. 2003, Editora da Universidade Estadual de Maringá. Cap.3, p. 59 – 83.

CAERN. Tratamento de esgoto. Disponível em: <http://www.caern.rn.gov.br>>. Acesso em: 09 out.2015.

CANCIAN, L. F. Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes Pistia estratiotes e Salvinia molesta em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2007.

CETESB. Norma técnica L 220: Pseudomonas aeruginosa – Determinação em amostras de água técnica de membrana filtrante. São Paulo: 1993.
CETESB. Norma técnica L5.202: Coliformes totais e fecais – Determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos. São Paulo: 1998.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia de coleta e preservação de amostra de água. São Paulo, 1987,150 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters. Disponível em: <http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/constructed-wetlands-design-manual.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2015.

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/menuconteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>>. Acesso em: 09 out. 2015

ESTEVEZ, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAGUNDES, R.M.; SCHERER, M. J. (2009). Sistemas alternativos para o tratamento local dos efluentes SANITÁRIOS. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 10, n. 1, p. 53-65, 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto – etes, 2006. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/ETE%20.pdf>. Acesso em: 09 out. 2015.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Controle da qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos, 2006. Disponível em: http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualidade_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf. Acesso em: 26 mai. 2015.

FUNASA. Manual de saneamento. 3ª ed. – Brasília: Ministério Nacional de Saúde, 1999.

GONÇALVES, R. F. et al. (Coord.). Uso Racional da Água em Edificações. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GRANATO, M. Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 05).

LAVRADOR, J. Contribuição para o entendimento do Reuso Planejado de Água e Algumas Considerações sobre suas Possibilidades no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

MANCUSO, P. C. S. SANTOS, H. F. Reuso de Água, Manole – Barueri, SP, 2003.

MAY, S. (2008). Caracterização, tratamento e reuso de águas cinza e reaproveitamento de águas pluviais em edificações. Tese doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo.

MONTEIRO, R. C. M., Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

REBOUÇAS T. C., BIANCHI, G. & GONÇALVES, R. F. (2007). Caracterização de águas residuárias de origem residencial. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina, Fortaleza.

SAUTCHÚK, C. Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SILVA, S. C., Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos, Tese de doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007.

TRATA BRASIL. Saneamento é saúde. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/falta-saneamento-basico-na-pb>>. Acesso em: 09 out. 2015.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. Navegar Editora, São Paulo, 2005, 2ª ed., 180p.

_____. Economia de água. Navegar, São Paulo, 2003.