

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MAURO MASSANARI TAMURA

***WETLAND* CONSTRUÍDO TIPO LAGOA DE MACRÓFITA
FLUTUANTE EMPREGADO NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2014

MAURO MASSANARI TAMURA

***WETLAND* CONSTRUÍDO TIPO LAGOA DE MACRÓFITA
FLUTUANTE EMPREGADO NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Carvalho Junior

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

WETLAND CONSTRUÍDO TIPO LAGOA DE MACRÓFITA FLUTUANTE EMPREGADO NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

por

Mauro Massanari Tamura

Monografia apresentada no dia 06 de Agosto de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. MsC. Bruno de Oliveira Freitas
UTFPR

Prof. Dr. Edilaine Regina Pereira
UTFPR

Prof. Dr. Orlando Carvalho Junior
UTFPR
Orientador

Profª. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus Supremo por ser onipresente, e ter me concedido esta oportunidade de cursar a Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Agradeço a minha família, por todo apoio dado e que tanto me ajudaram e foram compreensivos em relação à importância do curso em minha vida.

A técnica do laboratório que contribuiu para as análises do trabalho.

Agradeço aos amigos, por serem grandes companhias, e proporcionaram-me muitas alegrias durante o período da faculdade.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação.

Agradeço ao amigo e orientador Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior pela orientação sempre competente e segura, demonstrando como um excelente orientador, pela confiança que em mim depositou durante todo o período de estudo, pela compreensão, apoio e por ter se tornado, para mim, uma referência nos aspectos pessoal e profissional.

E a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

RESUMO

TAMURA, Mauro M. *Wetland* construído tipo lagoa de macrófita flutuante empregado na remoção de nitrogênio. 2014. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

O nitrogênio é essencial aos ecossistemas aquáticos por ser um elemento de fundamental importância no desenvolvimento dos seres vivos. Seu excesso pode gerar, por exemplo, fenômeno da eutrofização em ambientes lênticos. Esse trabalho procurou investigar a eficiência de um conjunto de *wetlands* construídos tipo lagoa de macrófita flutuante utilizando espécie semelhante à *Pistia stratiotes*. O conjunto era composto por 3 lagoas mais uma de controle, independentes, em escala de bancada e operadas em batelada. A partida em cada lagoa foi feita considerando um percentual aparente de cobertura vegetal superficial de 25%, 50% e 100%, respectivamente, e empregando efluente sintético. A remoção de nitrogênio total Kjeldahl e amoniacal, respectivamente, chegou a valores de 93% e 98% de eficiência, e o nitrato chegou a 100%.

Palavras-chave: *Wetland*. Remoção de Nitrogênio. *Pistia stratiotes*.

ABSTRACT

TAMURA, Mauro M. Constructed *wetland* pond floating macrophyte used on nitrogen removal 2014. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

Nitrogen is essential to aquatic ecosystems to be an element of fundamental importance in the growth of living things. The excess can lead to eutrophication of rivers and lakes. Having said that this study sought to investigate the efficiency of the type constructed *wetland* system type pond floating macrophyte *Pistia stratiotes*. The system achieved fairly successful, total Kjeldahl nitrogen obtained a 93% removal efficiency of the obtained ammonia nitrate 98% and has reached 100% for removal. The main advantages found in the system were very low cost, ease of operation and compliance with the standards of environmental legislation considering the validity of CONAMA Resolution 357/2005.

Keywords: *Wetland*. Nitrogen. *Pistia stratiotes*.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Curva de calibração.....	26
Gráfico 2– Remoção do nitrogênio Amoniacal.	27
Gráfico 3– Eficiência de Remoção do Nitrogênio Amoniacal.	28
Gráfico 4– Remoção do Nitrato.....	28
Gráfico 5– Eficiência de remoção do Nitrato.....	29
Gráfico 6– Remoção do NTK.....	30
Gráfico 7– Eficiência de remoção do NTK.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Wetland</i> com macrófita emergente fluxo superficial.....	18
Figura 2 - <i>Wetland</i> com macrófita emergente com fluxo sub- superficial	18
Figura 3 - <i>Wetland</i> com macrófita emergente com fluxo vertical.....	19
Figura 4 - Esquema do sistema <i>Wetlands</i> flutuantes	19
Figura 5 - <i>Pistia stratiotes</i>	21
Figura 6 - Corpo hídrico coberto por <i>Pistia stratiotes</i>	22
Figura 7-Caixa M1, M2, M3 e Caixa BRANCO.....	23
Figura 8 - Caixa M1, início com macrófitas cobrindo 25% da área.	31
Figura 9 - Caixa M1 após 7 dias, com macrófitas cobrindo 60% da área.	31
Figura 10 - Caixa M1 após 14 dias, com macrófitas cobrindo 75% da área.	32
Figura 11 - Caixa M1, macrófitas mortas.....	32
Figura 12 - Caixa M1 com novas macrófitas.	33
Figura 13 - Caixa M1 após 28 dias, término das análises.	33
Figura 14 - Caixa M2, com macrófitas cobrindo 50% da área.....	34
Figura 15 - Caixa M2 após 7 dias, com macrófitas cobrindo 100% da área.	34
Figura 16 - Caixa M2 após 14 dias.....	35
Figura 17 - Caixa M2 com 21 dias após retirar 0,3 kg de macrófitas.	35
Figura 18 - Caixa M2 após 28 dias, término das análises.	36
Figura 19 - Caixa M3, início com macrófitas cobrindo 100% da área.	36
Figura 20 - Caixa M3 após 7 dias.....	37
Figura 21 - Caixa M3 após 14 dias.....	37
Figura 22 - Caixa M3 após 21 dias.....	38
Figura 23 - Caixa M3 após 28 dias, término das análises.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Taxonomia da macrófita <i>Pistia stratiotes</i>	22
Tabela 2- Concentração de referência base para o experimento.....	25
Tabela 3- Concentração do efluente utilizado no experimento.....	25
Tabela 4- Ensaio para monitoramento do efluente.....	25
Tabela 5- Média da taxa de remoção.....	38
Tabela 6 - Valores do pH durante a operação.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1 ÁGUA.....	11
3.2 ESGOTOS.....	12
3.3 NITROGÊNIO.....	13
3.3.1 EUTROFIZAÇÃO.....	13
3.3.2 CICLO DO NITROGÊNIO	14
3.4 LEGISLAÇÃO	15
3.5 <i>WETLANDS</i>	16
3.5.1 <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO	17
3.5.2 <i>WETLANDS</i> COM PLANTAS EMERGENTES	18
3.5.3 <i>WETLANDS</i> COM PLANTAS FLUTUANTES	19
3.6 <i>PISTIA STRATIOTES</i>	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	23
4.2 COLETA DAS MACRÓFITAS	23
4.3 ADAPTAÇÃO DAS MACRÓFITAS	24
4.4 MONITORAMENTO E ANÁLISE.....	25
4.5 CRESCIMENTO DAS MACRÓFITAS.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 NITROGÊNIO AMONÍACAL.....	27
5.2 NITRATO	28
5.3 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)	29
5.4 TAXA DE CRESCIMENTO DAS MACRÓFITAS	31
5.4.1 CAIXA M1	31
5.4.2 CAIXA M2	33
5.4.3 CAIXA M3	36
5.5 TAXA DE REMOÇÃO DO NITROGÊNIO	38
5.6 PH.....	39
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um elemento muito importante para o ecossistema aquático por ser um elemento indispensável ao crescimento dos organismos vivos, porém, em excesso pode levar o grande crescimento de plantas aquáticas, a ponto de serem consideradas causadores de interferências, levando a ocorrência do processo de eutrofização de rios, lagos e represas (VON SPERLING, 2005).

Segundo Von Sperling (2007) são vários os efeitos indesejáveis ocorridos devido a eutrofização: mortes de peixes, condições anaeróbias no corpo d'água, redução na capacidade de navegação de rios e desaparecimento gradual de lagos. Monteiro (2004) cita, também, interferências nos processos de tratamento de águas para abastecimento humano, degradação da qualidade na paisagem e incomodo para banhistas.

Há vários processos utilizados para a remoção de nitrogênio em águas residuárias, podendo ser destacadas o arraste de amônia com utilização de ar comprimido (air stripping), a cloração, troca iônica, entre outros (METCALF & EDDY, 1991). Devido esses processos terem grande custo, a cada dia busca-se novas bases tecnológicas para tratamento de efluentes que sejam eficientes na remoção de nitrogênio com baixo custo de implantação e simplicidade operacional.

Vários estudos têm apresentado resultados eficientes na utilização de macrófitas em remover nutrientes dos efluentes (PETRUCIO e ESTEVES, 2000; KORNER e VERMAAT, 1998; PRIYA et al., 2012).

Dentre as diversas alternativas, o uso de *wetland* construído com macrófitas pode ser bastante atrativo para o tratamento de efluentes (JUNIOR, 2010; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; SOUSA 2000).

Nesse contexto, um conjunto de *wetlands* construídos tipo lagoa de macrófita flutuante foram utilizados para a remoção de nitrogênio de efluente sintético. Esse sistema reduziu, em apenas uma semana, a carga de nitrogênio total atendendo aos parâmetros ambientais de lançamento de efluentes. Considerando este fato e a necessidade de desenvolver novas tecnologias *wetlands* desse tipo podem ser considerada excelente alternativa para tratamento de efluentes nitrogenados. Os resultados mostraram, ainda, que macrófitas flutuantes podem ser utilizadas em projetos de biorremediação em ambientes lênticos eutrofizados.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a tecnologia do *wetland* construído com macrófitas flutuantes, para remoção do nitrogênio como opção viável para tratamento de efluentes nitrogenados.

2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral dessa pesquisa fosse alcançado, os seguintes específicos foram estabelecidos:

- Estimar a taxa de remoção de nitrogênio em relação à área de cobertura das lagoas.
- Verificar a influência da densidade de plantas na eficiência de remoção do nitrogênio.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Água

Para discorrer sobre tratamento de efluentes é necessário compreender a importância da água. Segundo Paz (2000) no universo, a água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida; em excesso, ela causa inundações e calamidades ambientais e sua escassez pode provocar fome e miséria. No entanto, o despertar da água como um direito humano fundamental e a preocupação com a edição de legislações para salvaguardar a qualidade e o acesso a esse elemento natural, mediante políticas públicas, são questões recentes. Uma grande diversidade de órgãos legisla sobre a água no Brasil, inclusive uma Agência Nacional das Águas que foi criada no ano 2000.

Cunha *et al.* (2002) enfoca a gestão múltipla dos recursos hídricos, que é necessária para garantir seu uso de forma saudável garantindo sua disponibilidade às gerações futuras. Muitas vezes impactos negativos sobre os cursos d'água estão relacionados à ações que teriam como objetivo promover saneamento, numa visão higienista isolada, cuja predominância, na prática, objetiva somente o afastamento dos dejetos.

Pode-se ver claramente a necessidade de planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos como forma de garantir a disponibilidade de água em quantidade suficiente e qualidade adequada para as gerações presente e futura. A sustentabilidade dos recursos hídricos está intimamente ligada ao controle das cargas poluidoras que a eles chegam (SANTIAGO, CALIJURI, LUÍS, 2005).

A água doce tem se tornado num recurso escasso e mais degradado do ponto de vista ambiental. A escassez e a má utilização dos recursos hídricos fez que a ONU considerasse a água como principal tema do século XXI, e que o ano de 2003 fosse declarado o Ano Internacional da Água Doce (BERTODO, 2006).

3.2 Esgotos

O saneamento básico pode-se dizer que é o conjunto de medidas, que visam a preservação do meio ambiente com a finalidade de melhorar a qualidade de vida.

A disponibilidade dos serviços de saneamento se enquadra à oferta de água, esgotos sanitários adequados, coleta de lixo e drenagem das águas pluviais. A etapa inicial de controle de poluição das águas visa, principalmente, o tratamento da fase líquida do esgoto in natura gerado nas cidades e municípios e com isso proteger os recursos hídricos (BARBOSA, 2002).

Segundo o Manual de Saneamento da FUNASA, as principais doenças transmitidas pela água ao homem, são doenças veiculadas por ingestão: cólera, febre tifóide, disenteria bacilar e amebiana e doenças pelo contato com a pele ou com mucosas: esquistossomose, tracoma e escabiose. Isso devido os microrganismos de origem fecal, causados pelo inadequado tratamento dos esgotos (BRASIL. FUNASA, 2004).

Como a finalidade de melhorar a qualidade de vida esta diretamente ligada a saúde da população, para proteger a saúde preservando o meio ambiente, os sistemas de esgotamento sanitário devem dispor de tratamento adequado dos esgotos coletados para poder alcançar este fim (SILVA e BARBOSA, 2011).

O lançamento de efluentes in natura nos recursos hídricos resulta além de vários problemas socioambientais, em impactos significativos sobre a vida aquática e o meio ambiente como um todo. De forma geral, não existe um sistema de tratamento padrão para ser utilizado. Vários fatores irão influenciar na escolha das opções tecnológicas, tais como, disponibilidade de área, qualidade desejada para o efluente tratado, da legislação referente ao local, entre outros (PIMENTA *et al.*, 2012).

Para o desenvolvimento sustentável, o tratamento dos efluentes é de suma importância. O principal objetivo do tratamento de esgotos é proteger, de maneira econômica e socialmente aceitável o meio ambiente e a saúde pública. “A utilização benéfica de esgotos encontra-se entre uma das prioridades do manejo de resíduos em todo o mundo” (EPSTEIN, 1997). “O interesse em sistemas naturais de tratamento de esgotos baseia-se na ética de utilização, reutilização e reciclagem de resíduos, sempre que possível” (CORRÊA *et al.*, 2000).

3.3 Nitrogênio

Para Lessa (2007) as formas disponíveis de nitrogênio para a nutrição dos seres vivos incluem combinações amoniacais, nítricas ou orgânicas e que são metabolizados apontando a construção de biomassa.

Donato *et al.* (1999) diz que o N_2 é muito abundante na atmosfera, porém, ele é relativamente escasso na crosta terrestre. Grandes quantidades de nitrogênio são consumidas nos diversos processos de fixação do nitrogênio atmosférico, como por exemplo, o realizado por microrganismos, tornando o nitrogênio disponível as plantas.

O nitrogênio é um elemento extremamente importante na síntese de proteínas pelas plantas e pode vir a ser um fator limitante na produção de alimentos. Entretanto, o excesso de nitrogênio, pode causar problemas de superprodução de algas nos corpos receptores de estações de tratamento de efluentes que não forem capazes de retirar ou, ao menos, reduzir a quantidade desse elemento. Nos esgotos o nitrogênio pode aparecer de diversas formas, desde nitrogênio orgânico, amônia, até formas mais oxidadas como nitrito e nitrato (KIPNIS *et al.*, 1978).

3.3.1 Eutrofização

Para Barreto *et al.* (2013), a eutrofização é o aumento excessivo de nutrientes na água, o que pode ser causada por esgotos domésticos, drenagem de áreas agrícolas nas quais se utilizaram fertilizantes, uso de detergentes, resíduos de minas, entre outros. De acordo com Smitch e Schindler (2009), a palavra eutrófico quer dizer rico em nutrientes e eutrofização que vem do grego eu, “bem” e trophein “nutrir”, ou seja, bem nutrido. Os mesmos autores definem como continuação desse desequilíbrio a multiplicação de matéria vegetal, que quando se decompõe causa danos como a diminuição do oxigênio dissolvido, tão necessário à vida aquática.

Para Corriveau *et al.* (2009), o excesso dos nutrientes dos adubos utilizados na agricultura, pode chegar aos cursos d'água, devido ao processo de lixiviação e escoamento superficial.

Mudanças devido ao aporte de nutrientes em corpos d'água, inicialmente, podem ser benéficas. O plâncton desenvolve-se e a população de peixes aumenta, porém, o crescimento excessivo de espécies vegetais rapidamente se transforma em

um problema sério à qualidade de água. Segundo Monteiro (2004) as principais consequências que podem interferir no uso da água são os seguintes:

- Grandes variações diárias da concentração em oxigênio dissolvido (OD) que podem resultar em níveis de OD muito baixos nos períodos noturnos com o consequente desaparecimento de certas espécies de peixes;
- O excesso de fitoplâncton tem como consequência o aumento da deposição de matéria orgânica no fundo de lagos com consequente redução do OD para níveis muito baixos no hipolimnion de lagos;
- Diminuição da transparência da água;
- Complicação nos processos de tratamento das águas para a distribuição de água potável: sabor e odor desagradáveis; produção de algas filamentosas que obrigam à redução dos períodos de lavagem dos filtros;
- Proliferação das plantas aquáticas que constituem um obstáculo a prática da navegação de lazer;
- Degradação da qualidade da paisagem;
- Incomodo para o banho;
- Algumas vezes associado a processos de eutrofização está à proliferação de algas tóxicas que em zonas costeiras afetam bivalves que se forem consumidos dão origem a intoxicações graves que afetam o sistema nervoso central.

3.3.2 Ciclo do Nitrogênio

O processo pelo qual o nitrogênio circula através das plantas e do solo pela ação de organismos vivos é conhecido como ciclo do nitrogênio.

Para Lessa (2007) a atmosfera contribui como fornecimento de nitrogênio gasoso e com pequena parcela de nitrogênio combinado nas formas de NH_4^+ , originado de queimas industriais de atividades vulcânicas, nitrato (NO_3^-) originado da oxidação do N_2 pelo O_2 ou pelo ozônio (O_3) na presença de descargas elétricas ou de radiação ultravioleta. O amônio e nitrato produzido na atmosfera são transportados para o solo pela chuva, podendo ser absorvido pelas raízes.

Segundo Peixoto (2008) o nitrogênio combinado no solo é o mais capaz dos compostos às transformações biológicas. As plantas geralmente o absorvem na forma de compostos altamente oxidados, dos quais o nitrato é o principal deles.

Após absorção, esses compostos devem ser reduzidos para que sejam incorporados nos diversos constituintes celulares na forma de NH_2 . Portanto, nos animais e nas plantas, o N_2 encontra-se, na sua maioria, na forma reduzida como íon amina (NH_2^-). No outro extremo, o nitrato, principal forma com que o nitrogênio é encontrado no solo, é altamente oxidado, sendo necessária a adição de 8 elétrons para que se converta em amina. O nitrogênio disponível para as plantas também pode ser dos fertilizantes industriais.

O mesmo autor diz que mesmo sendo abundante na atmosfera, o nitrogênio (N_2) não pode ser absorvido pelas plantas. Exceto pelos microrganismos fixadores ou via adubação, a principal forma de obtenção desse elemento pelas plantas é o aproveitamento do nitrogênio combinado na matéria orgânica. Com o uso das plantas na alimentação dos animais, os compostos nitrogenados são utilizados para produção de novas proteínas.

3.4 Legislação

No Brasil a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água em classes e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabeleceu condições de padrões de lançamento de efluentes.

Os padrões para lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser despejadas nos corpos d'água estão citadas no artigo 34º dessa mesma resolução, apresentados a seguir:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C , sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C ;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;

e) óleos e graxas:

- óleos minerais: até 20 mg/L;

- óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes;

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

Para o parâmetro nitrogênio, estabeleceu o valor de 20 mg/L na forma de nitrogênio amoniacal total, mas deve ser observado a Classe do corpo receptor.

A qualidade da água para águas doces de Classes 1 e 2, o valor do nitrogênio total não deve ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos.

Para o nitrato nas Classes 1, 2 e 3 das águas doces, não deve ultrapassar 10 mg/L. O nitrito nas Classes 1, 2 e 3 não pode ser maior que 1 mg/L.

A Classe 4 não possui restrição para lançamento e a Classe especial não é permitido o lançamento de efluentes mesmo tratados.

3.5 *Wetlands*

Os *wetlands* são locais alagados ou inundáveis, que na natureza são diversos ecossistemas e apresentam boas condições para o crescimento de plantas aquáticas devido a grande quantidade de alimentos. Desempenham um papel como “rins naturais” para preservação da qualidade das águas por meio de remoção de nutrientes (MALIK, 2007).

Salati [entre 1997 e 2013] destaca as importantes funções dentro dos ecossistemas, que são:

- Capacidade de regularização dos fluxos de água, amortecendo os picos de enchentes;
- Capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas;
- Importância na função de reprodução e alimentação da fauna aquática, incluindo os peixes;
- Proteção à biodiversidade como área de refugio da fauna terrestre;

- Controle de erosão, evitando o assoreamento dos rios.

Os pântanos, mangues e brejos são exemplos naturais de *wetlands*. Uma *wetland* construída é aquela cuja finalidade específica é o controle da poluição e o manejo de resíduos em um local diferente de onde existe uma *wetland* natural (USEPA, 1993).

3.5.1 *Wetland* construído

Os *wetlands* construídas para tratamento de efluentes são sistemas desenhados e construídos para utilizar processos naturais na remoção de poluentes do efluente. Este sistema está entre uma das mais eficientes tecnologias recentemente comprovadas para o tratamento de águas residuárias. Comparado com sistemas de tratamento convencionais, os *wetlands* construídas são de baixo custo, de fácil operação e manutenção, e tem um grande potencial para aplicação em países em desenvolvimento, particularmente em pequenas comunidades rurais (KIVAISI, 2001).

Salati *et al.* (2009) afirma que a utilização de *wetlands* construídas como sistemas de tratamento de águas residuais têm se intensificado nestas últimas décadas. Estes sistemas têm sido matéria de muitas discussões, as quais apresentam um ponto positivo: o desenvolvimento de pesquisas e experimentos conduzindo para um maior conhecimento e experiências nessa linha de pesquisa. No Brasil, a primeira vez da utilização de sistemas *de wetlands* construídas para o processo de limpeza de águas foi realizada por Salati e Rodrigues (1982).

Esses filtros plantados com macrófitas adaptam-se a diferentes situações e arranjos, apresentando bom desempenho no tratamento de efluentes.

Os Sistemas *Wetlands* reduzem ou removem os contaminantes das matérias orgânicas, matérias inorgânicas e até patógenos da água. É realizada por diversos mecanismos de tratamento, incluindo sedimentação, filtração, adsorção e absorção pelo vegetal (WATSON *et al.*, 1989).

Várias técnicas de *wetlands* construídos foram desenvolvidas, as quais são utilizadas de acordo com as características do efluente a ser tratado, interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico. Em resumo esses sistemas podem ser classificados como: sistema que utilizam plantas aquáticas flutuantes e plantas aquáticas emergentes.

3.5.2 *Wetlands* com plantas emergentes

Estes sistemas de purificação hídrica utilizam plantas que desenvolvem seu sistema radicular preso e o caule e as folhas parcialmente submersas. A profunda penetração do sistema radicular permite a exploração de um grande volume de sedimentos, dependendo da espécie considerada. As espécies típicas de macrófitas aquáticas emergentes são plantas herbáceas de diversas famílias (ARMSTRONG *et al.*, 1991). Segundo Salati *et al.* (2009) as macrófitas emergentes que possuem o sistema radicular fixo no substrato, representam as formas dominantes das *wetlands* naturais. Essas plantas podem se desenvolver em situações nas quais o nível do lençol freático está a 50 cm abaixo até 150 cm acima do nível do solo.

Podem ser reconhecidos três esquemas básicos para a utilização desta técnica de plantas aquáticas emergentes.

As macrófitas emergentes com fluxo superficial (figura 1), geralmente são construídos canais longos, sendo a lâmina de água variável a água a ser tratada escorrem pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes.

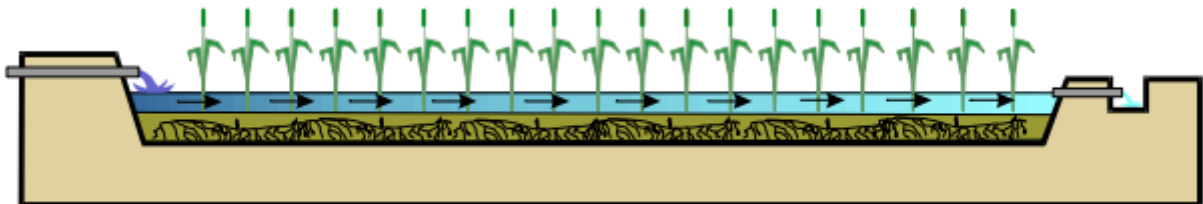


Figura 1 - *Wetland* com macrófita emergente fluxo superficial

Fonte: Salati, et al. (2009).

O sistema com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial (figura 2), em geral são contruídos canais mais longos, a água a ser tratada é mantida em fluxo em substrato formado por pedras com a espessura da camada variável.

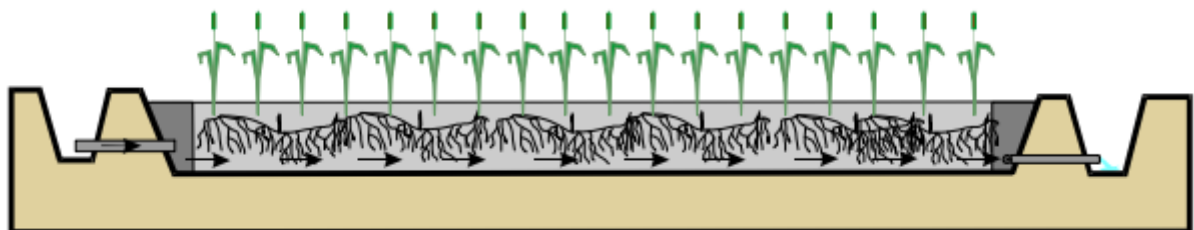


Figura 2 - *Wetland* com macrófita emergente com fluxo sub- superficial

Fonte: Salati, et al. (2009).

O sistema do fluxo vertical (figura 3) é esquematizada em uma camada de solos sobre brita, e normalmente predominam os sistemas de canal longo com pequena profundidade.

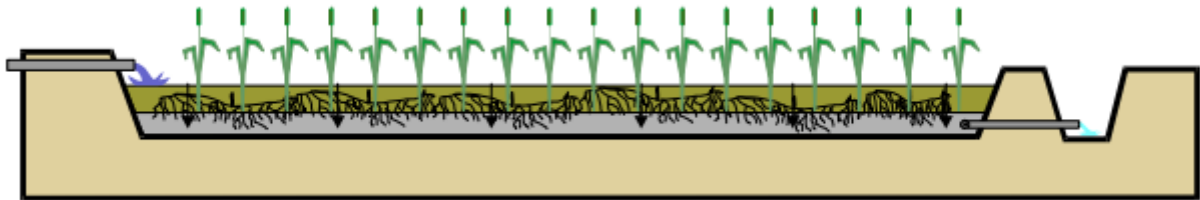


Figura 3 - Wetland com macrófita emergente com fluxo vertical

Fonte: Salati, et al. (2009).

3.5.3 Wetlands com plantas flutuantes

Os *wetlands* com as macrófitas flutuantes apresentado na figura 4 normalmente são utilizados em projetos com canais relativamente rasos. Podem conter uma espécie de planta ou várias espécies.

A vantagem dos sistemas com macrófitas aquáticas flutuantes em relação àqueles com macrófitas emergentes, é devido à retirada de biomassa dos vegetais flutuantes para que a eficiência de remoção seja a ideal é muito mais fácil comenta Biudes e Camargo [entre 2010 e 2013].

As principais características para contribuir positivamente para o desempenho da do sistema são: rápido crescimento; alta capacidade de assimilação de nutrientes; grande capacidade de estocar nutrientes na biomassa; tolerância às características físicas e químicas do efluente e tolerância às condições climáticas locais (TANNER, 1996).

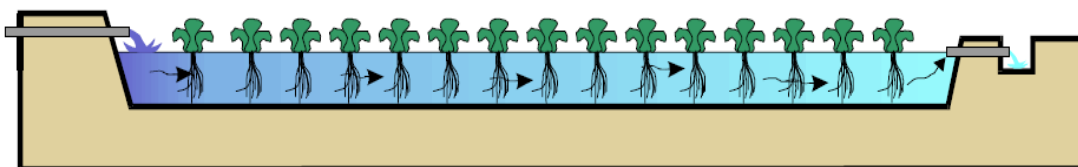


Figura 4 - Esquema do sistema Wetlands flutuantes

Fonte: Salati, et al. (2009).

Salati *et al.* (2009) diz que a ação depuradora desses sistemas de plantas flutuantes ocorre pela adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas,

absorção de nutrientes e metais pelas plantas, ação de microrganismos associados à rizosfera, alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos e grande produção de biomassa que pode ser utilizada na produção para ração animal, biofertilizantes e energia.

O mesmo autor destaca esse sistema em finalidades como:

- Tratamento terciário para remoção de nutrientes dos quais, especialmente o fósforo e o nitrogênio são incorporados à biomassa das plantas. O nitrogênio também é removido como consequência da nitrificação microbiológica.
- Tratamento secundário e terciário, além da remoção dos nutrientes existe a redução da DBO e DQO. Neste processo existe degradação da matéria orgânica e transformações das formas nitrogenadas no canal das plantas.

Esse sistema há seus benefícios, porém, em ventos fortes podem remover as plantas, que é um grande problema.

3.6 *Pistia stratiotes*.

Segundo (POTT & POTT, 2000) a *Pistia stratiotes* conhecida como alface d'água (Figura 5) é considerada uma espécie cosmopolita tropical e subtropical, é uma macrófita aquática que se reproduz de forma sexuada e assexuada e é observada formando densos tapetes na superfície da água.

É amplamente distribuída no Brasil, ocorrendo tanto em ecossistemas aquáticos naturais quanto em ambientes aquáticos impactados por atividades antrópicas, como reservatórios e viveiros.

Existem relatos de proliferação indesejada dessas espécies em várias partes do mundo, restringindo os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos, como captação de água, geração de energia, navegação e comprometimento das atividades de lazer (PETR, 2000).



Figura 5 - *Pistia stratiotes*

Fonte: Bugbee e Balfour (2010).

A *Pistia* consiste de uma roseta de obovadas a espatuladas, folhas verde-claro aveludadas. A parte inferior das folhas é densamente peludas e quase branco, com nervuras longitudinais, com veias embutidos e suas raízes de penas longas (NEUENSSCHWANDER *et al.* 2009).

Segundo Esteves (1988) a importância dessa planta são em vários aspectos, tais como a formação de detritos orgânicos, na estocagem e ciclagem de nutrientes, no controle da poluição, entre outros. No entanto quando se perde o controle no crescimento das macrófitas aquáticas e ocorre sua proliferação, elas se tornam um grande problema (Figura 6).



Figura 6 - Corpo hídrico coberto por *Pistia stratiotes*

Fonte : Junior (2011).

Júnior (2011) diz que a multiplicação é geralmente desenvolvida no indivíduo um pequeno rebento em forma de pecíolo que atinge muitas vezes 7 cm de comprimento sob 5mm de largura, emitindo na parte superior uma ou mais folhas que se desenvolve a medida que a planta cresce até atingir seu tamanho adulto, e assim por diante vão constituindo outros indivíduos e formando um conjunto de muitas plantas que contribui na formação de bancos de macrófitas.

Tabela 1 Taxonomia da macrófita *Pistia stratiotes*

Reino	<i>Plantae</i>
Sub Reino	<i>Viridaeplantae</i>
Filo	<i>Tracheophyta</i>
Subfilo	<i>Spermatophytina</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Super Ordem	<i>Harane</i>
Ordem	<i>Arales</i>
Família	<i>Araceae</i>
Subfamília	<i>Coliadae</i>
Gênero	<i>Pistia</i>
Espécie	<i>stratiotes</i>
Nome	<i>Pistia stratiotes</i>

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este item descreve a metodologia aplicada e os recursos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, desde a coleta do material até a execução das análises.

4.1 Descrição do sistema de tratamento

O sistema experimental foi instalado na estufa do campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no campus Londrina.

Para o experimento foram utilizadas caixas de PVC todas com dimensões de 0,59 x 0,39 x 0,18 metros e com um volume útil de 28 litros cada.

Foram instaladas quatro caixas (Figura 7): Caixa M1 com preenchimento de 0,200 kg, aproximadamente 25% da superfície de macrófitas, M2 com 0,470 kg, cerca de 50%, M3 com 0,810 kg e 100% das plantas, durante todo o experimento todas elas ficaram cobertas com sombrite, e Caixa controle (BRANCO) com o efluente sem as macrófitas, também coberta com o sombrite e um plástico preto, para monitoramento do efluente sintético utilizado.



Figura 7-Caixa M1, M2, M3 e Caixa BRANCO

4.2 Coleta das macrófitas

Foram empregadas macrófitas (*Pistia stratiotes*), coletadas no canal que liga o Lago Igapó 3 com o lago Igapó 2 (Figura 8) situada no município de Londrina. A escolha desta espécie de planta foi devido a sua abundância no meio, fácil adaptação a diversos ambientes.

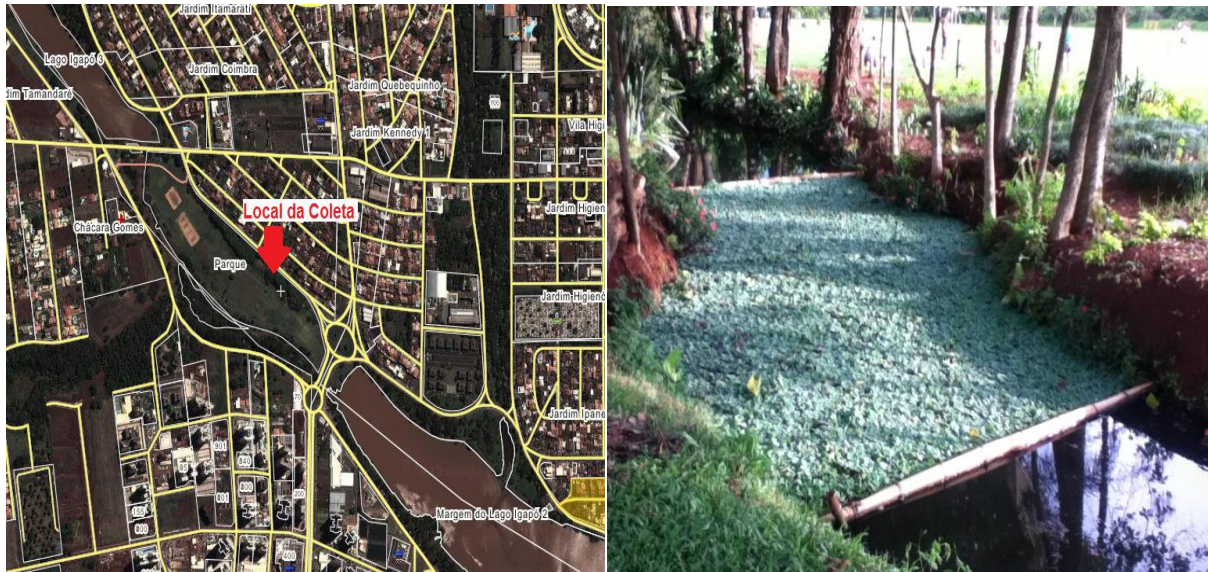


Figura 8 - Local da Coleta das Macrófitas

A coleta foi realizada manualmente e aleatória, a montagem do experimento foi realizada no mesmo dia da coleta, no momento da introdução foi realizada uma seleção visualmente das maiores macrófitas.

4.3 Adaptação das macrófitas

Para melhor adaptação das macrófitas ao ambiente da bancada experimental, cada caixa foi inicialmente preenchida com 5 litros de água do local de coleta de mudas e 23 litros com água de abastecimento desclorificada com uma gota de tiosulfato de sódio para cada dois litros de água de acordo com a recomendação do produto. Após 15 dias as caixas foram esvaziadas, preenchidas com 28 litros de efluente sintético como referência base de Brugnago (2013) apresentada na Tabela 2 e os valores obtidos foram de acordo com a Tabela 3 as mudas foram distribuídas de acordo com cobertura superficial designada para cada uma delas.

Tabela 2- Concentração de referência base para o experimento.

Composto	Concentração (mg/L)
Fosfato Monopotássico (P ₂ O ₅ .K ₂ O)	34
Nitrato de magnésio (Mg(NO ₃) ₂)	185,6
Nitrato de cálcio (Ca(NO ₃) ₂)	21
Uréia ((NH ₂) ₂ CO)	12
Cloreto de amônia (NH ₄ Cl)	60

Fonte: Brugnago (2013)

Tabela 3- Concentração do efluente utilizado no experimento.

Composto	Concentração (mg/L)
Nitrato	20,7
Nitrogênio Amoniacal	15,8
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)	23,5

4.4 Monitoramento e análise

As amostras do efluente foram coletadas, na parte central da área superficial e aproximadamente na metade da profundidade das caixas, uma vez por semana num período de 28 dias de operação. Antes de cada coleta, cada caixa era preenchida com água desclorificada até atingir o volume de 28 litros, para não haver diferença de concentração em virtude dos volumes coletados e evaporados de uma semana para outra. As amostras eram encaminhadas para o laboratório de saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina.

Todos os procedimentos analíticos foram adotados segundo Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012) de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4- Ensaio para monitoramento do efluente.

Parâmetros	Unidades	Frequências	Procedimento n°.
pH	-	Semanal	4500-H ⁺ B
Nitrato	mg/L	Semanal	4500 NO ₃ espectrofotometria U.V.
Nitrogênio amoniacal	mg/L	Semanal	4500-NH ₃ C Titulométrico
Nitrogênio total kjeldahl (NTK)	mg/L	Semanal	4500-N-org. B. Macro Kjetdahl

Para o parâmetro do nitrato, foi realizado um Gráfico (Gráfico 1) que pode observar a curva de calibração construída a partir dos dados obtidos.

A curva-padrão corresponde à relação gráfica entre os valores de absorvância e os de concentração. Com base na análise gráfica é possível verificar a linearidade da reação e calcular um fator de conversão de valores de absorvância em concentração.

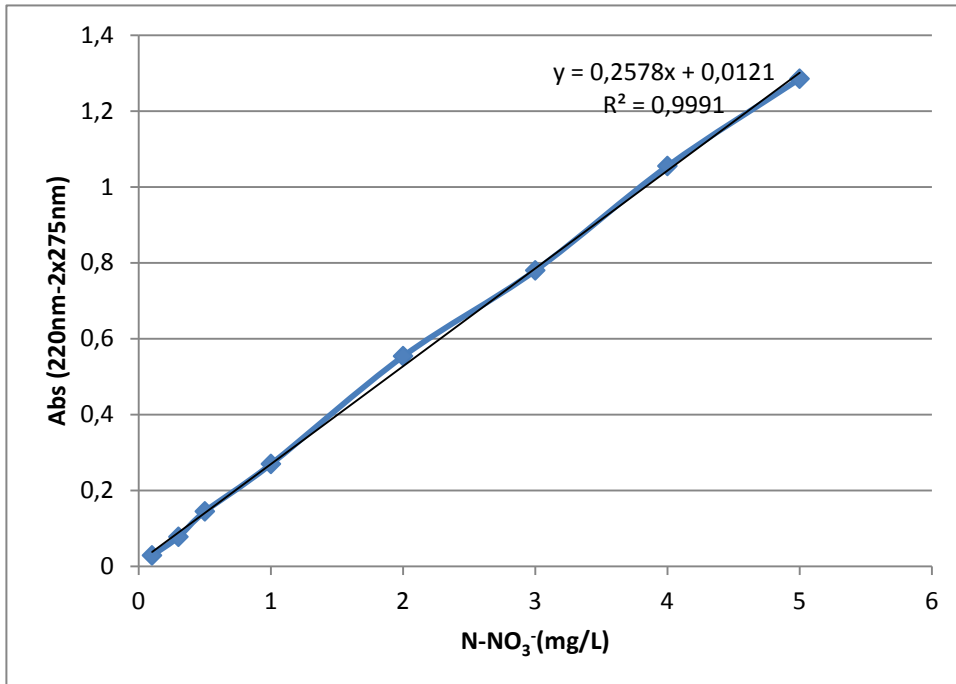


Gráfico 1– Curva de calibração.

4.5 Crescimento das macrófitas

O crescimento das plantas foi analisado, de maneira muito simplificada, baseado apenas na observação do aumento da ocupação da área superficial de cada caixa. As macrófitas na superfície ficavam dispersas, portanto, para a observação foi realizada com medição da área ocupada pelas plantas aquáticas, com auxílio de uma barra de madeira puxando-se todas as plantas para um lado da caixa e com uma trena media-se a dimensão das plantas e calculava-se a área ocupada para obter aproximadamente o percentual de uma semana para outra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo foi dedicado à apresentação dos resultados bem como, respectiva discussão.

5.1 Nitrogênio Amoniacal

No Gráfico 2 observa-se os valores dos resultados obtidos, para o parâmetro do Nitrogênio Amoniacal durante o período de operação do sistema.

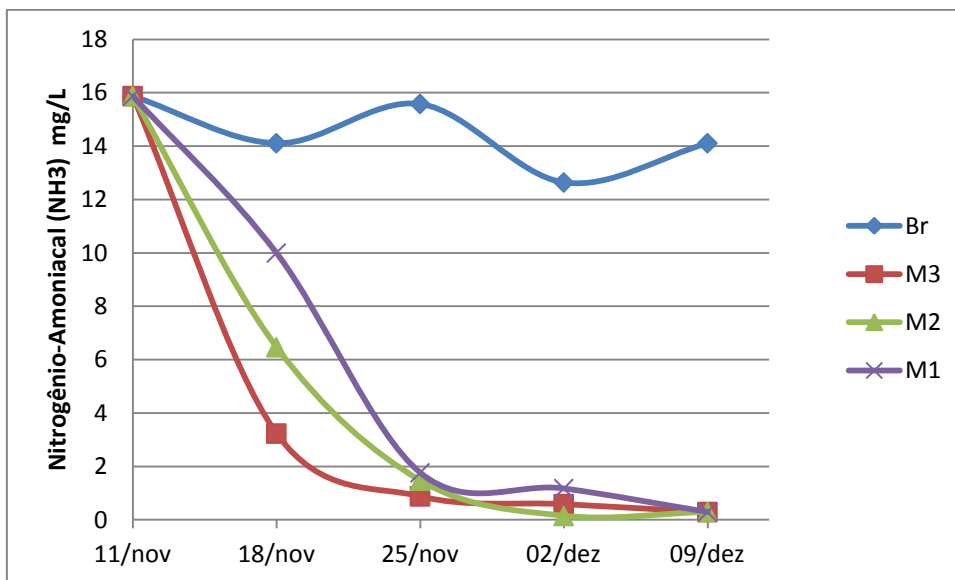


Gráfico 2– Remoção do nitrogênio Amoniacal.

O sistema revelou valores bastante significativos de remoção de nitrogênio amoniacal. Inicialmente com 15,8 mg/L de nitrogênio moniacal, após a primeira semana, todas as caixas já obtiveram grande remoção, a caixa M1 reduziu para 9,9 mg/L, M2 para 6,4 mg/L e M3 3,2 mg/L, os valores distantes um do outro pode ser devido a quantidade de macrófitas nas caixas, a caixa com mais plantas obtiveram maior redução na primeira semana. Na segunda semana os valores já estavam similares, 1,7 mg/L, 1,4 mg/L e 0,8 mg/L, respectivamente. Na terceira semana as concentrações continuaram a reduzir, e na quarta semana as concentrações finais de todas as caixas atingiram 0,29 mg/L.

Os dados do Gráfico 3 revelam que a eficiência geral de remoção do NH_3 no sistema ficou em 98% para todas as caixas. As caixas praticamente estabilizaram na segunda semana, a caixa M2 teve uma pequena queda na terceira para quarta semana, isto pode ser devido ao erro experimental, porém, uma redução insignificante.

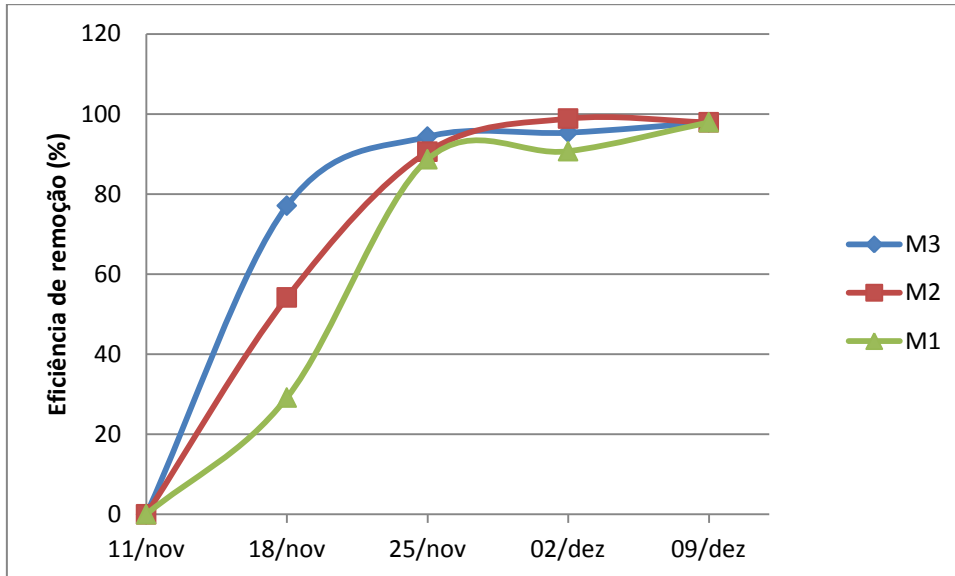


Gráfico 3– Eficiência de Remoção do Nitrogênio Amoniacal.

5.2 Nitrato

No Gráfico 4 esta representado os valores da remoção do nitrato.

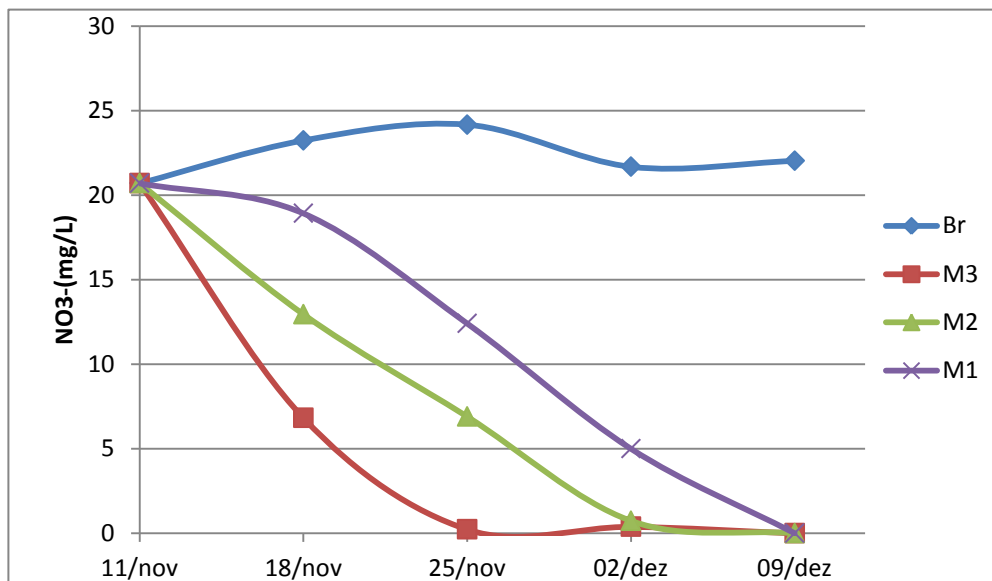


Gráfico 4– Remoção do Nitrato.

Segundo os dados apresentados pelo gráfico o sistema revelou valores bastante significativos de remoção. As concentrações do nitrato foram reduzindo gradativamente, o valor inicial era de 20,7mg/L, para todas as caixas, e após as quatro semanas, as concentrações efluente estavam abaixo do limite de detecção do método utilizado. Pelos dados da caixa BRANCO é possível inferir que a remoção de nitrato se deu pela absorção das macrófitas ou por desnitrificação. Os dados mostraram que a caixa com maior quantidade de plantas, M3, obtiveram maior eficiência de remoção porém, como no experimento não houve controle de todos os parâmetros necessários para afirmar a via de remoção de nitrato, não se pode ter total certeza de que a remoção foi devido somente às macrófitas.

No Gráfico 5 observa-se que a eficiência das caixas de remoção de nitrato chegaram a 100%. A caixa com 100% da área com macrófitas, na segunda semana já havia removido toda a concentração. É importante observar também, que após a segunda semana todas as caixas possuíam quase que 100% de cobertura superficial por macrófitas.

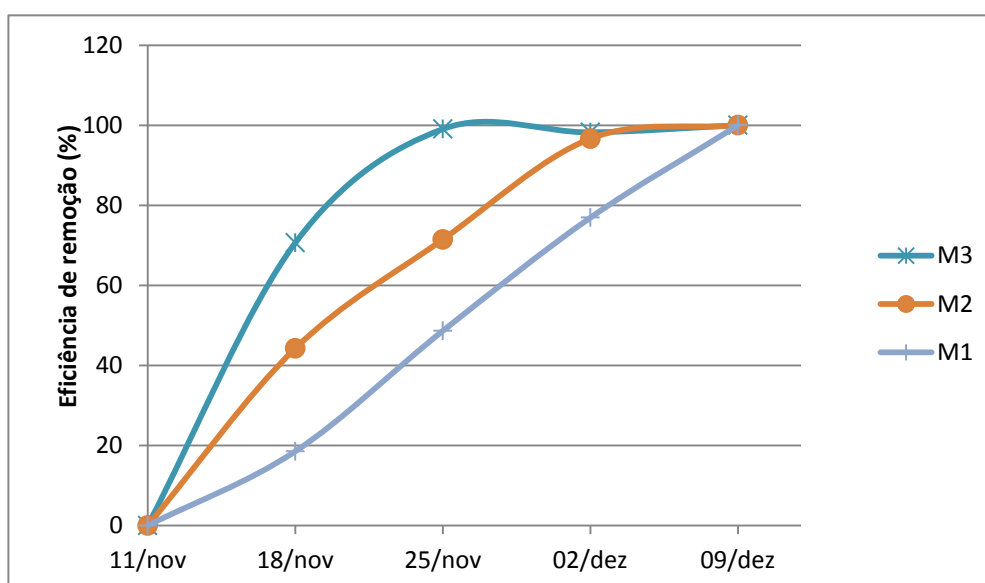


Gráfico 5– Eficiência de remoção do Nitrato.

5.3 nitrogênio total Kjeldahl (NTK).

Os valores de remoção do NTK, são apresentados no Gráfico 6 pelos resultados obtidos na operação do sistema.

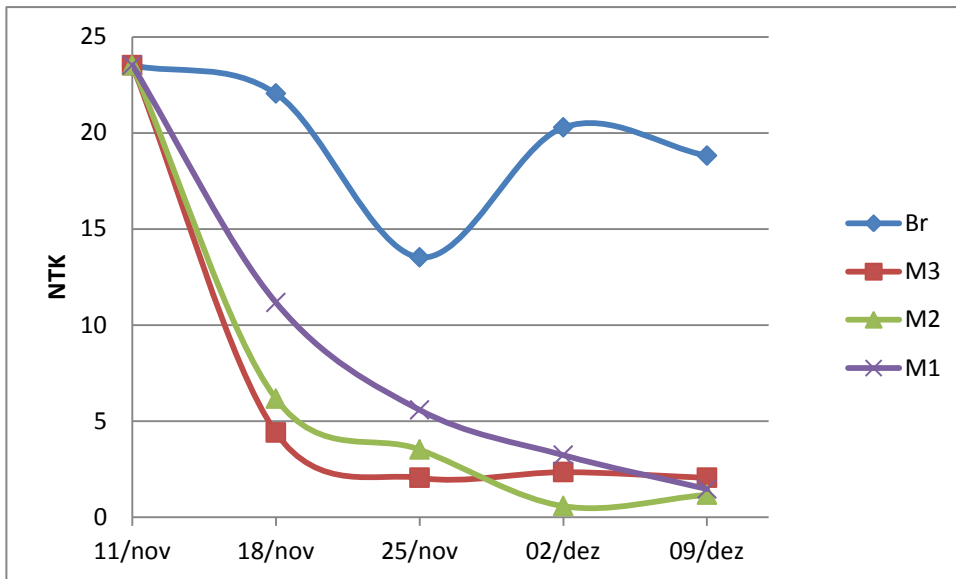


Gráfico 6– Remoção do NTK.

O sistema revelou elevada eficiência na remoção de NTK. O valor do efluente era de 23,5 mg/L, na caixa M3, diminuindo acentuadamente logo após a primeira semana, passando para 4,4 mg/L, e após essa semana teve uma pequena diminuição e praticamente estabilizou, no final da análise chegou a 2,0 mg/L. A caixa M2 terminou em 1,17 mg/L e a M1 com 1,47 mg/L.

A diminuição na caixa BRANCO na segunda semana, pode ser atribuída a alguma imperícia no momento da análise da amostra.

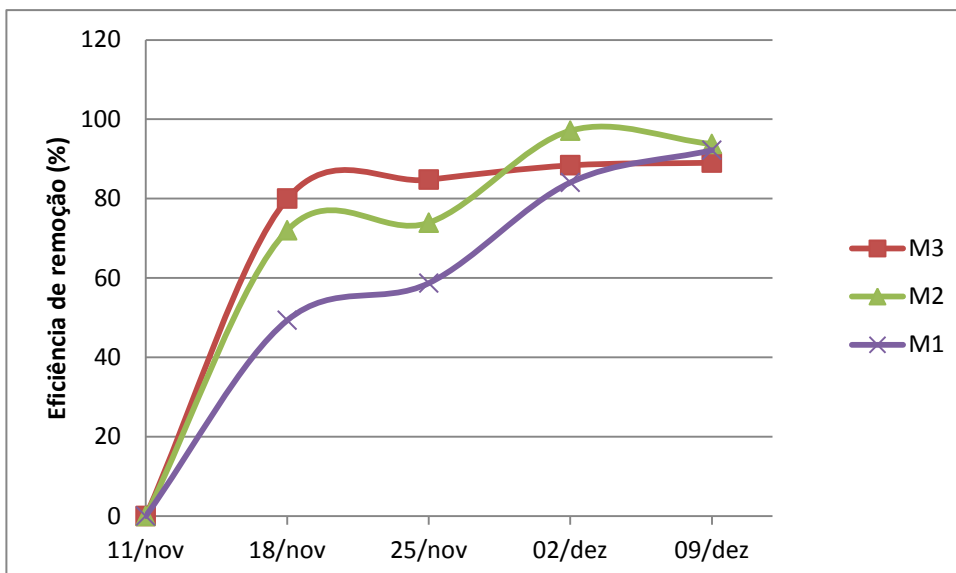


Gráfico 7– Eficiência de remoção do NTK.

No Gráfico 7 observa-se que o desempenho percentual na remoção do NTK, teve uma ótima eficiência, porém, menor que dos outros parâmetros analisados.

Para as caixas, M3, M2 e M1, respectivamente, obtiveram os valores de 89,0%, 93,7% e 92,2%.

5.4 Taxa de crescimento das Macrófitas

5.4.1 Caixa M1

Pela Figura 9 observa-se a caixa coberta com 25% das macrófitas da caixa M1.



Figura 8 - Caixa M1, início com macrófitas cobrindo 25% da área.

Na Figura 10 observa-se que planta mostrou uma rápida constituição de novos indivíduos, após uma semana a sua área coberta já era de 60%. Pode-se verificar que há várias plantas novas em fase inicial de desenvolvimento.



Figura 9 - Caixa M1 após 7 dias, com macrófitas cobrindo 60% da área.

Após duas semanas as plantas atingiram 75% da área superficial (Figura 12) e apresentou crescimento do seu diâmetro.



Figura 10 - Caixa M1 após 14 dias, com macrófitas cobrindo 75% da área.

Após três semanas (02/12/13) todas as macrófitas morreram (Figura 12). Foi um ocorrido inesperado, pois no dia 29/11/13 as plantas se mostravam normais. O intervalo de dois dias foi um final de semana que não houve monitoramento. Não foi encontrado hipóteses do acontecimento.



Figura 11 - Caixa M1, macrófitas mortas.

Para dar continuidade nas análises, retirou-se as plantas mortas e foi introduzido 0,3 kg de macrófitas (Figura 13) retirado da caixa M2.



Figura 12 - Caixa M1 com novas macrófitas.

Na figura 14 ilustra a caixa M1 sete dias após colocar novamente a macrófita e vinte e oito dias após o início da pesquisa. Esta apresentou cerca de 80% da cobertura com peso de 0,640 kg.



Figura 13 - Caixa M1 após 28 dias, término das análises.

5.4.2 Caixa M2

Na Figura 15 observa-se o comportamento das macrófitas da caixa M2, inicialmente com cerca de 50% da área superficial.



Figura 14 - Caixa M2, com macrófitas cobrindo 50% da área.

Após uma semana (Figura 16) o crescimento já atingiu 100% da área da caixa, com várias novas plantas.



Figura 15 - Caixa M2 após 7 dias, com macrófitas cobrindo 100% da área.

Na segunda semana, as macrófitas (Figura 17) aumentou-se a quantidade e o crescimento do diâmetro das plantas mantendo sua cobertura de 100% da área da caixa.



Figura 16 - Caixa M2 após 14 dias.

Na terceira semana devido à morte das macrófitas da caixa M1, retirou-se as plantas e pesou, seu peso foi de 1,048 kg, assim foram retirados 0,3kg para colocar na caixa M1, como ilustra a Figura 18.



Figura 17 - Caixa M2 com 21 dias após retirar 0,3 kg de macrófitas.

Na Figura 19 observa-se a caixa M2 ao final das análises, com 0,826 kg de plantas.



Figura 18 - Caixa M2 após 28 dias, término das análises.

5.4.3 Caixa M3

Na Figura 20 ilustra-se o desenvolvimento das plantas da caixa M3, 100% da cobertura superficial.

A configuração das plantas praticamente manteve o mesmo, a área sempre manteve totalmente preenchida.



Figura 19 - Caixa M3, início com macrófitas cobrindo 100% da área.

Como citado, após sete dias não houve muita diferença no comportamento das macrófitas em relação a semana inicial, como pode ser observado na Figura 21.



Figura 20 - Caixa M3 após 7 dias.

A segunda semana observa-se pela Figura 22, praticamente igual a semana anterior.



Figura 21 - Caixa M3 após 14 dias.

Na terceira semana o peso das macrofitas era de 1,012 kg, algumas plantas entraram em decomposição, observa-se na Figura 23. As macrofitas demonstraram um diâmetro menor quando reduziram os nutrientes.



Figura 22 - Caixa M3 após 21 dias.

A Figura 24 ilustra o final do experimento, após 28 dias, pode-se observar que o diâmetro da macrófita está menor.



Figura 23 - Caixa M3 após 28 dias, término das análises.

5.5 Taxa de remoção do Nitrogênio

Na Tabela 5 estão representados os valores da taxa de remoção dos parâmetros analisados.

Tabela 5- Média da taxa de remoção

Parâmetro	Taxa de remoção (kg/m ² dia)		
	M1	M2	M3
Nitrato	0,0056	0,0028	0,0014
Nitrogênio Amoniacal	0,0042	0,0021	0,0011
NTK	0,0060	0,0030	0,0015

A caixa M1 obteve maior taxa de remoção em kg/m²dia, para todos parâmetros analisados em 28 dias de operação. Esse resultado indica que as plantas na fase de crescimento e desenvolvimento de novas mudas, o sistema apresentou seu melhor desempenho e que a principal via de remoção pode ser a absorção pelo sistema radicular.

5.6 pH

Na Tabela 6 observa-se os dados do pH durante o período de operação. A *Pistia stratiotes* desenvolve melhor em pH em torno de 6. Os valores não tiveram grande variação, sempre mantendo perto da neutralidade.

Tabela 6 - Valores do pH durante a operação.

	br	M3	M2	M1
18/nov	5,97	6,22	4,73	4,2
25/nov	6,38	6,71	6,55	5,48
02/dez	6,7	7,31	6,97	6,89
09/dez	6,78	6,67	5,76	6,46

6. Conclusão

Os resultados obtidos com a operação do sistema de *wetland* construído com macrófita flutuante permitiram concluir que:

- O *wetland* construído com macrófitas flutuantes demonstrou um grande potencial para a remoção do nitrogênio total;
- A espécie *Pistia stratiotes* mostrou um excelente desempenho;
- O tempo de retenção de 28 dias foi suficiente para remoção do nitrogênio.
- A ocupação da área superficial de 25% das macrófitas obteve resultados semelhante a 50% e 100%;
- Avaliando-se a remoção do nitrogênio do efluente, ocorreu redução da concentração de todos os parâmetros analisados, todos atendendo o padrão de lançamento estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 357/2005;
- Pode ser uma boa sugestão de estudo para uma biorremediação.

REFERÊNCIAS

_____. **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 dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008 e CONAMA 430/2011.

ARMSTRONG, Wayne et al. Convective gas-flows in *wetland* plant aeration. In: **Plant Life Under Oxygen Deprivation**. M. B. Jackson, D. D. Davies, and J. Lambers, Eds. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands, 1991, 283.

BERTODO, E.J.P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. 2006. 204 f. Dissertação (mestrado em engenharia do ambiente) - Faculdade de Engenharia do Porto. Porto 2006.

BIUDES, José F. V.; CAMARGO, Antônio F. M. **Uso de macrófitas aquáticas no tratamento de efluente de aquicultura**. 10f, Jaboticabal [entre 2010 e 2013].

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BRUGNAGO, Natalia; BACH, Albert O.; FILHO, Paulo B.; MOHEDANO, Rodrigo A.; Uso de macrófitas Lemnáceas para remoção de nutrientes do esgoto sanitário e fixação de carbono. **1º Simpósio Brasileiro sobre APLICAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**. P. 34-41. Florianópolis, 2013.

CORRÊA, Rodrigo S.; FILHO, Benício M.; BERNARDES, RS. Deposição de esgoto doméstico para controle de poluição e revegetação induzida em área degradada. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. V.4, no.2, p.252-256 Campina Grande, 2000.

CORRIVEAU, Julie; VAN BOCHOVE, Eric; SAVARD, Martine M.; CLUIS, Daniel; PARADIS, Daniel **Occurrence of High In-Stream Nitrite Levels in a Temperate Region Agricultural Watershed**. *Water, Air and Soil Pollution*, p1-13. 2009.

CUNHA, C.L.N.; ROSMAN, P.C.C.; MONTEIRO, T.C.N. Avaliação da poluição por esgoto sanitário na baía de sepetiba usando modelagem ambiental. XXVIII **Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 27 a 31 de Outubro, 2002, Cancúm, México.

DONATO, V. M.T.S.; ANDRADE, A.G. de; CÂMARA, T.R. Variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro com diferentes fontes de nitrogênio. *Scientia Agricola*, v. 56, n°.04, p.1289-1292, 1999. Suplemento.

EPSTEIN, Eliot. *The science of composting*. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company, Inc. 1997. 487p.

ESTEVEZ, Francisco A. *Fundamentos da Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 575 p. 1988.

JUNIOR, Orlando C. **Filtros plantados com macrófitas (*wetlands*) empregados no tratamento do efluente de instalações de bovinocultura de leite**. 2010. 11f. Projeto de pesquisa - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Educação Superior Norte. RS. Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, 2010.

JUNIOR, Mauricio J. O. **Uso de macrófitas da espécie *Pistia stratiotes* (alface d'água) como combustível sólido para fornalhas industriais, uma análise de viabilidade técnica e econômica**. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em agroenergia) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” – ESALQ/USP. São Paulo, 2011.

KIPNIS, T. *et al.* (1978) “Ecological and agricultural aspects of nitrogen balance in perennial pasture irrigated with municipal effluents”. In: International Conference on Developments in Land Methods of Wastewater **Treatment and Utilisation**. Melbourne, 1978. Proceedings. Melbourne, IAWPRC, (paper n. 8).

KIVAISI, Amelia K. The potential for constructed *wetlands* for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 545–560, 2001.

KÖRNER, S., LYATUU, G.B. ; VERMAAT, J.E. The influence of *Lemna gibba* on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. **Water Research**. v. 32, n. 10, p. 3092-3098. 1998.

LESSA, Ruth N. T.. *Ciclo do Nitrogênio*. 2007. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Ambiental, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

MALIK, Anushree Environmental challenge vis a vis opportunity: **The case of water hyacinth**. **Environment International**, v. 33, p. 122-138. 2007

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering. **Treatment, Disposal, Reuse**. 3rd edition, McGraw-Hill Int. Ed., Singapore, 1991.

MONTEIRO, Antônio J.; **Eutrofização**. Instituto Superior Técnico. 23 f. Portugal, 2004.

NEUENSCHWANDER, Peter; JULIEN, Mic H.; CENTER, Ted D.; HILL, Martin P. *Pistia stratiotes* L. (Araceae). **Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods**, p. 332-352. 2009.

PAZ, Vital P.S.; TEODORO, Reges E.F.; MENDONÇA, Fernando. C.; Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEIXOTO, Maria F. S. P.; **Ciclo do nitrogênio**. O nitrogênio e o ciclo do nitrogênio. 24f. Bahia, 2008.

PETR, T. Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters. **A review. FAO Fisheries Technical Paper**. 396, Rome, 185 p. 2000.

PETRUCIO, Mauricio M. & ESTEVES, Francisco Antônio. 2000. Uptake of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. **Rev. Brasil. Biol.**, **60**(2):229-236.

PHILIPPI, Luiz S., SEZERINO, Pablo H. 2004. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Ed. do Autor. Florianópolis/SC. 144p.

PIMENTA, Handson C. D., TORRES, Felipe. R. M., RODRIGUES, Bernardo S., ROCHA JÚNIOR, Josenberg. M. da. O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22. 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: Encontro nacional de engenharia de produção, 2002.

POTT, Vali J.; POTT, Arnildo Plantas aquáticas do Pantanal. Corumba: **EMBRAPA**. p.353, 2000.

PRIYA.Anima, AVISHEK, Kirti, PATHAK, Gopal Assessing the potentials of *Lemna minor* in the treatment of domestic wastewater at pilot scale. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.184, n. 7, p. 4301–4307. 2012.

SALATI, Eneas; FILHO, Eneas S.; SALATI, Eeida F. **Utilização de sistemas de *Wetlands* construídas para tratamento de águas**. 23 f. Piracicaba, 2009.

SALATI, Eneas; RODRIGUES, N. S. De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé. *Revista Brasileira da Tecnologia*, 13 (3): p. 37-42, 1982.

SALATI, Eneas; Controle de Qualidade de Água através de Sistema de *Wetlands* Construídos. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável**. 19 f. Rio de Janeiro, [entre 1997 e 2013].

SANTIAGO, Anibal F. et al Pontencial para a utilização de sistemas de *wetlands* no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos do Brasil. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 29-39, 2005.

SILVA, Ivanilda; BARBOSA, Flávio H. F. Conhecimento da População Luzense Sobre a Importância da Implantação do Sistema de Tratamento de Esgoto no Município (Luz-MG). **Ciência Equatorial**. V.1. p, 18-27, 2011.

SMITH, Val H. & SCHINDLER, David W. **Eutrophication science: where do we go from Here**. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 201-207. 2009.

SOUSA, José T., et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “*Wetlands*” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.

TANNER, Chris C. Plants for constructed *wetland* treatment systems – A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. **Ecological Engineering**. 7: 59-83. 1996

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993. Subsurface Flow Constructed *Wetlands* for Wastewater Treatment: A technology assesment. 87 p.

VON SPERLING, Marcos **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005, 243p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

VON SPERLING, Marcos **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007, 243p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 7).

Watson, J.T., et al Performance expectations and loading rates for constructed *wetlands*. In: Hammer, D.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Lewis, 1989.

APÊNDICE

Apresentação dos valores dos resultados obtidos das análises realizadas.

Nitrogênio Amoniacal

Datas	Br	M3	M2	M1	Eficiências de remoção (%)			
11/nov	15,88	15,88	15,88	15,88	Datas	M3	M2	M1
18/nov	14,11	3,23	6,47	10,00	18/nov	77	54	29
25/nov	15,58	0,88	1,47	1,76	25/nov	94	91	89
02/dez	12,64	0,59	0,15	1,18	02/dez	95	99	91
09/dez	14,11	0,29	0,29	0,29	09/dez	98	98	98

Nitrato

Datas	Br	M3	M2	M1	Eficiências de remoção (%)			
11/nov	20,71	20,71	20,71	20,71	Datas	M3	M2	M1
18/nov	23,23	6,82	12,95	18,93	18/nov	71	44	19
25/nov	24,16	0,23	6,90	12,41	25/nov	99	71	49
02/dez	21,68	0,38	0,73	5,00	02/dez	98	97	77
09/dez	22,03	0	0	0	09/dez	100	100	100

Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)

Datas	Br	M3	M2	M1	Eficiências de remoção (%)			
11/nov	23,52	23,52	23,52	23,52	Datas	M3	M2	M1
18/nov	22,05	4,41	6,17	11,17	18/nov	80	72	49
25/nov	13,52	2,06	3,53	5,59	25/nov	85	74	59
02/dez	20,29	2,35	0,59	3,23	02/dez	88	97	84
09/dez	18,82	2,06	1,18	1,47	09/dez	89	94	92