

TATIANA GIRARDELLO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CAPIM VETIVER NA
REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM LAGOAS DE TRATAMENTO
DE EFLUENTE INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof^o Me. Leandro Bassani

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof^o Me. Leandro Bassani – UFFS



Prof^o Dr. Alexandre Augusto Moreira Lapis – UFFS



Prof^o Dr. Fernando Grison - UFFS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CAPIM VETIVER NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM LAGOAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

Tatiana Girardello*

Leandro Bassani**

Resumo

A busca por novas tecnologias e otimização de processos para o tratamento de efluentes é essencial para abranger as mais variadas situações de localização e disponibilidade recursos aliado à proteção ambiental. Objetivando a preservação da qualidade dos recursos hídricos aliado ao desenvolvimento econômico. O tratamento de efluentes por meio da fitorremediação vem de encontro a essa necessidade. A avaliação da eficiência em remoção de nutrientes do capim Vetiver hidropônico em sistema híbrido com a lagoa facultativa do tratamento de águas residuárias de uma indústria de laticínios é a proposta deste estudo. O sistema Vetiver foi inserido na lagoa em jangadas de pallet. As mudas possuíam 50 dias de desenvolvimento, com densidade de 21 mudas.m⁻². O experimento avaliou mensalmente os parâmetros de nitrogênio total, fosforo total, demanda química de oxigênio, pH, oxigênio dissolvido e temperatura do efluente. Os resultados são correspondentes a 90 dias de desenvolvimento vegetativo, atingindo 0,70 m de altura da massa foliar e apenas 0,20 m do sistema de raízes. A avaliação indica uma melhora dos parâmetros de pH e fósforo total, principalmente para o último período avaliado, em que observou-se excelente crescimento da planta. Este projeto terá seguimento para obter-se um vigoroso sistema de raízes. A eficiência do sistema Vetiver hidropônico depende do seu estágio de desenvolvimento, e neste caso, também sofre as influencias das variações de fluxo e características do efluente e do clima. Todos estes fatores propiciarão avaliações futuras, em condições reais, do sistema Vetiver.

Palavras-chave: Capim Vetiver. Ilhas flutuantes. Tratamento de efluente.

1. Introdução

A conservação dos recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável são um desafio às gerações atuais e futuras, envolvendo medidas de controle e minimização dos impactos ambientais causados. Para tanto, utilizar os recursos naturais de modo racional, sustentando o equilíbrio da vida no planeta e oportunizar o acesso a água potável é um dever. Neste sentido, sendo a água a base da vida, este deve ser o recurso primordial a ser preservado.

A perda da qualidade dos recursos hídricos é consequência da inadequada gestão do uso e ocupação do solo, e do saneamento básico juntamente com o despejo de efluentes industriais. Com vistas à preservação e a recuperação dos recursos hídricos, estão em vigor, legislações que estabelecem parâmetros e padrões de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos. Estando as indústrias, agroindústrias e demais empreendimentos sujeitos a atender a legislação e suas penalidades previstas. Segundo Barreto (2005), as indústrias também são alvos assíduos de

* Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul. Rua João Seib, 233, Centro, Riqueza-SC, CEP: 89895-000. tatigirar@yahoo.com.br

** Professor adjunto da Universidade Federal da Fronteira Sul no curso de Engenharia Ambiental. Bassani2609@gmail.com

fiscalização e precisam adequar-se, tratando seus efluentes líquidos para posterior descarte em corpos d'água ou reutilização.

Muitas indústrias e agroindústrias da região produzem efluentes com características semelhantes em relação às elevadas concentrações de matéria orgânica, Nitrogênio (N) e Fósforo (P), compostos estes que apresentam elevado potencial de contaminar o corpo receptor. Conforme Von Sperling (2005), a matéria orgânica nas águas, implica, indiretamente, no consumo do oxigênio dissolvido (OD), dificultando o restabelecimento do equilíbrio aquático por meio da autodepuração.

O fósforo e o nitrogênio são nutrientes essenciais à vida, importantes para o solo e as plantas. Contudo, para as águas, são um problema ambiental, pois o efluente bruto que contém basicamente nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e fósforo que não são removidos pelas bactérias anaeróbias. Quando estes nutrientes chegam aos rios e lagos em altas concentrações, podem ser tóxicos aos peixes. Propiciam o crescimento excessivo das algas, causando a eutrofização, reduzindo a oxigenação da água, impossibilitando a entrada de luz solar, e por conseguinte causa prejuízos à biota aquática (VON SPERLING, 2005).

Além dos danos à biota, o nitrogênio e o fósforo podem contribuir nas consequências ao homem. As estações de tratamento de água não são adaptadas para remover o nitrogênio e fósforo, os quais, em elevadas concentrações dificultam o processo de tratamento da água e podem chegar até os consumidores. Uma das formas do nitrogênio que encontramos nas águas é o nitrato que está relacionado a doenças como a metahemoglobina (síndrome do bebê azul). O nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul. (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Para amenizar esses efeitos à biota e aos humanos, a melhor opção é buscar alternativas de tratamento de efluentes que apresentem eficiência reconhecida na remoção de fósforo e nitrogênio. Uma escolha atrativa é o sistema de alagados construídos para tratar e remover nitrogênio e fósforo dos efluentes, sanitários ou industriais. Os alagados construídos são sistemas que procuram reproduzir os ambientes naturais alagados como os mangues e banhados. Nestes sistemas, as águas residuárias nutrem as plantas que extraem esses nutrientes do efluente pois são essenciais ao seu crescimento, constituindo portanto seu potencial de fitorremediação dos efluentes (TRUONG, 2008).

O sistema de alagados construídos é flexível quanto a configuração física e espécies utilizadas. Dentre as variadas formas que podem ser utilizadas, destacam-se as aplicações controladas de efluente diretamente no solo, chamadas de terras alagadas, ou a construção de alagados com o leito impermeabilizados ou não, dependendo do potencial poluidor do efluente. Já a escolha das espécies também pode variar, existem as que flutuam naturalmente não necessitam de meios de suporte, e as espécies que não flutuam precisam ser fixadas utilizando meios de suporte, geralmente areia e brita para fixar a planta, ou em jangadas nos sistemas flutuantes.

Os alagados construídos permitem serem projetados de acordo com às necessidades de cada situação, do local, da disponibilidade de matéria prima e recursos financeiros, permitindo inclusive, conjugar o tratamento convencional com um sistema flutuante nas lagoas, ou seja, constituindo sistemas híbridos, melhorando a eficiência e proporcionando a remoção de nutrientes, aliado ao baixo custo. A escolha das espécies deve se criteriosa, com exemplares adaptados as condições úmidas, tolerantes aos clima, não invasoras, de fácil manejo e manutenção.

Segundo Truong (2008) o Sistema Vetiver (SV) é baseado na aplicação do capim Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) e vem sendo estudado em diversos países, pelo fato de não ser considerada uma espécie invasora, tolerante a extremos climáticos (frio e calor), e proporcionando simplicidade e baixo custo devido as suas características morfológicas e fisiológicas como: tolerância à extremos de pH, elevada concentração de poluentes, altamente eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo, apresenta crescimento rápido e vigoroso sistema de raízes. O capim Vetiver têm se mostrado eficiente para a prevenção e tratamento de águas contaminadas com rejeitos industriais ou domésticos, na fitorremediação de terras altamente contaminadas, inclusive com elevados níveis de tolerância e remoção de metais pesados.

A crescente pressão para o descarte de efluente industrial atendendo as normas e legislações vigentes, em respeito à preservação dos recursos hídricos, impulsionam o desenvolvimento de alternativas acessíveis e viáveis para o tratamento de efluentes domésticos, industriais ou de agroindústrias. Neste sentido, o sistema Vetiver em sistemas híbridos é promissor por aliar a estrutura física de instalações existentes à promissora alternativa de fitorremediação, reduzindo os custos e propiciando a melhora da qualidade do efluente final por meio do potencial em fixar nutrientes como nitrogênio e fósforo.

2. Objetivos

Avaliar a eficiência do capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em sistema híbrido de hidroponia com a lagoa facultativa do tratamento de efluentes convencional de uma indústria de laticínios.

2.1 Objetivos específicos

Avaliar a remoção nutrientes: fósforo total (P), nitrogênio total (N) e demanda química de oxigênio (DQO);

Comparar os resultados dos parâmetros avaliados com os limites de lançamento de efluentes estabelecidos na legislação vigente;

3. Revisão bibliográfica

3.1 Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios

As indústrias de laticínios geralmente são empreendimentos pequenos, localizados em áreas desprovidas de rede coletora de esgotos, com sistemas de tratamento de efluentes deficitários, recursos técnicos e financeiros escassos.

O volume de efluente líquido gerado é expressivo pela grande quantidade de água utilizada nas operações de processamento e limpeza. O potencial poluidor é resultante de elevada carga orgânica de nutrientes, poluentes orgânicos persistentes e dos agentes infectantes. As águas brutas de laticínios são compostas por leite e seus sub produtos, detergentes e desinfetantes utilizados na limpeza de equipamentos, tubulações e instalações, além de lubrificantes, açúcar, condimentos e pedaços de frutas (PRADO, 2008). Von Sperling (2005)

comenta que as atividades de limpeza com o uso de detergentes representa cerca de 50% do fósforo presente nas águas residuárias.

A matéria orgânica é constituída de uma mistura heterogênea de proteínas, carboidratos e lipídeos, entre outros. Pode ser determinada indiretamente com a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), sendo portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido. A DBO considera a fração biodegradável da demanda de oxigênio. Enquanto que a DQO considera tanto a fração biodegradável quanto a fração não biodegradável (VON SPERLING, 2005).

As vantagens de se analisar DQO, consistem em ser mais rápida, precisa e reprodutível, ou seja, suscetível a menos erros. Outro aspecto vantajoso comparativamente a DBO é a possibilidade de fazer o balanço de carbono do sistema de tratamento.

As agroindústrias, priorizam a remoção da matéria orgânica através do metabolismo de oxidação e síntese biológica das lagoas facultativas e a remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo é feita pela disposição controlada no solo ou em sistemas de lodos ativados e reatores aeróbicos, para atingirem a eficiência desejada (VON SPERLING, 2005). Esta última medida de remoção de nutrientes geralmente não é aplicada devido ao elevado custo de implantação e manutenção, ficando os sistemas deficitários no aspecto da remoção destes nutrientes.

3.2 O sistema de ilhas flutuantes

Alagados construídos, wetlands, hidroponia, ilhas flutuantes, são alguns nomes dentre os diversos métodos e conformações de tratamento da água que utilizam vegetação. Em comum, estes sistemas possuem algumas propriedades como: as raízes das plantas abrigam microrganismos decompositores de matéria orgânica; os aerênquimas dos vegetais são canais transportadores de oxigênio e nitrogênio das folhas para as raízes essenciais às bactérias decompositoras de matéria orgânica; o fluxo de oxigênio possibilita a oxigenação do meio aquático, auxiliando a decomposição aeróbica e processos de oxidação, além de auxiliar a eliminação de germes e bactérias patogênicas; as raízes são capazes de filtrar gases de decomposição evitando a exalação de odores, reter material particulado (BONZI, 2013).

As ilhas flutuantes conforme Figura 01, vêm se destacando dentre as tipologias de tratamento de efluentes. Este método possibilita que o sistema radicular da vegetação trabalhe em conjunto com os microrganismos para limpar as águas. Permite a utilização de meios flutuantes, jangadas, para fixar as mudas, conforme os recursos e tecnologias disponíveis na região.

Figura 01. Corte de ilha flutuante



Fonte: BONZI, 2013.

3.3 O capim Vetiver

Conforme Truong (2008) o sistema Vetiver, foi estudado por possuir características únicas mostrando-se adequado para a proteção ambiental. Apresenta elevado crescimento em condições úmidas, adequado para o tratamento de esgoto municipal e industrial por meio da fitorremediação com melhoria da qualidade de águas residuais e atenuação da poluição. Sendo uma maneira acessível e eficiente de melhorar a qualidade da água. A biomassa gerada pode ser utilizada em compostagem, como alimento para animais, extração de óleos, etc. Apesar de tolerar adversas condições climáticas extremas, sendo uma gramínea tropical, é intolerante ao sombreamento que reduz e limita seu crescimento.

Dentre as características morfológicas do capim Vetiver podemos destacar o enorme e profundo sistema de raízes que crescem rapidamente, podendo atingir de 3,6 a 4 metros de profundidade em 12 meses. Suas raízes são muito finas, não possuindo rizomas o que possibilitando um enorme volume de rizosfera para o crescimento e multiplicação de bactérias e fungos, permitindo a absorção de contaminantes e processos de decomposição como nitrificação. A parte aérea pode crescer até três metros (TRUONG, 2008).

Com relação as características fisiológicas, o Vetiver destaca-se por ser altamente tolerante a extremos, como em ambientes ricos em: acidez, alcalinidade, salinidade, sodicidade e magnésio, bem como ao Alumino, Manganês e metais pesados como Cádmio, Cromo, Níquel, Chumbo, mercúrio, selênio e Zinco presentes no solo e na água. Altamente eficientes na absorção de N e P dissolvidos em água poluída. Tolerante a herbicidas e pesticidas. Regenera rapidamente após a seca, geadas, fogo e outras condições adversas (TRUONG, 2008).

Smeal, Hackett e Truong (2003) avaliaram a capacidade do Vetiver em suportar e absorver níveis elevados de N e P de efluente industrial, altamente salino, alcalino e com elevado teor de matéria orgânica, em sistema de terras alagadas. Os resultados indicam que o capim responde positivamente ao fornecimento de elevadas taxas de N (de até 6000 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹) e P (de até 250 kg P.ha⁻¹.ano⁻¹) sem efeitos adversos aparentes com taxa de até 10000 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹ e de 1000 kg P.ha⁻¹.ano⁻¹. O crescimento do vetiver aumentou constantemente até a décima semana, sendo indicado a partir de 12 semanas sua poda. Apresentando uma altura de 1,7 metros com produção de 4074 g.m⁻² de matéria seca. A quantidade requerida de água pelo vetiver, foi estimada em 1 kg da biomassa seca da parte aérea utiliza 6.86 L.dia⁻¹. Em seu ciclo máximo de crescimento, a produção de biomassa é de cerca de 30,7 t.ha⁻¹.

O estudo realizado por Hart, Cody e Truong (2003) avaliou em quanto tempo o vetiver, sob condições hidropônicas, pode tratar o resíduo proveniente de fossa séptica. Os resultados

demonstraram que o Vetiver proporciona oxigenação, reduz a DQO, a salinidade e o teor de carbono dos efluentes, com efeito purificador, não ocorrendo problemas com mosquitos.

4. Metodologia

O presente estudo foi realizado em uma indústria de laticínio localizada no município de São Carlos, estado de Santa Catarina, nas seguintes coordenadas geográficas 23° 29' 29,9 " S e 46° 37' 36,5" O. A indústria é especializada na industrialização de iogurtes, bebidas lácteas, sobremesas, doce de leite e requeijão.

Assim, o sistema implantado está sujeito às variações de fluxo do efluente e às variações das características do efluente conforme o que está sendo industrializado. Além disso, o sistema está exposto às variações climáticas naturais: períodos secos ou chuvosos, diminuição da temperatura e variações na insolação, afetando diretamente o desenvolvimento do capim Vetiver e interferindo na eficiência do sistema Vetiver.

O efluente industrial é composto apenas pelas águas residuárias provenientes das atividades da indústria, não sendo misturados os efluentes sanitários. São utilizados em seu processo produtivo 40 mil litros de água diariamente. Consumindo, portanto, 12 m³ de água a cada 1000 litros de leite industrializado.

O sistema de lagoas de tratamento de efluentes da indústria opera com uma vazão de projeto de 30 m³.dia⁻¹, sendo que o efluente é bombeado para o sistema a cada 10 m³ de efluente acumulado em caixa de armazenamento, gerando um fluxo conforme as atividades industriais são desenvolvidas no decorrer do dia.

O sistema de lagoas é constituído pela sequência que segue:

- Tratamento primário: chamada caixa de gordura, objetivando a remoção física da gordura presente no efluente, possui capacidade de 10 m³ e Tempo de Retenção (TR): 8 horas;
- Lagoa anaeróbia (lagoa 01): os microorganismos decompositores de matéria orgânica atuam na ausência de oxigênio, possui volume de 940 m³ e TR: 31,36 dias;
- 2 Lagoas facultativas (lagoa 02 e 03): os microorganismos decompositores de matéria orgânica podem atuar tanto na presença como na ausência de oxigênio, possui volume de 240 m³ e TR: 8 dias;
- Lagoa de maturação (lagoa 04): neste caso específico, possui a função de reservatório para infiltração no solo, com 50 m³ e TR: 1,67 dias.

A estrutura do sistema primário é de concreto, as lagoas 01, 02 e 03 são revestidas com geomembranas em Polietileno de Alta Densidade – PEAD e a lagoa 04 não possui revestimento, propiciando a infiltração no solo.

4.1 Coleta de amostras e parâmetros analisados

A coleta das amostras de efluentes foram realizadas em quatro pontos, como segue:

- Primeiro ponto (P1-E1): efluente bruto, coletado na entrada da lagoa 01, logo após o tratamento primário da caixa de gordura;

- Segundo ponto (P2-E2): coleta da amostra na entrada da lagoa 02;
- Terceiro ponto (P3-E3): coleta da amostra na entrada da lagoa 03;
- Quarto ponto (P4-S3): coleta da amostra na saída da lagoa 03;

A primeira coleta de dados foi realizada antes da colocação do sistema Vetiver na lagoa 03, para se obter um valor referencial de eficiência do sistema de lagoas antes da inserção do capim Vetiver.

As demais coletas foram em uma periodicidade mensal, pelo período de quatro meses seguidos, nos quatro pontos de coleta (P1-E1; P2-E2; P3-E3; P4-S3) totalizando 16 amostras. As amostras foram coletadas e armazenadas sob refrigeração para o transporte até o laboratório.

Os parâmetros avaliados foram: demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P) e nitrogênio total (N) e pH. As amostras foram coletadas e encaminhadas ao laboratório em caixa térmica. O laboratório que realizou as análises é credenciado pelo órgão ambiental estadual (FATMA) para realização destas análises.

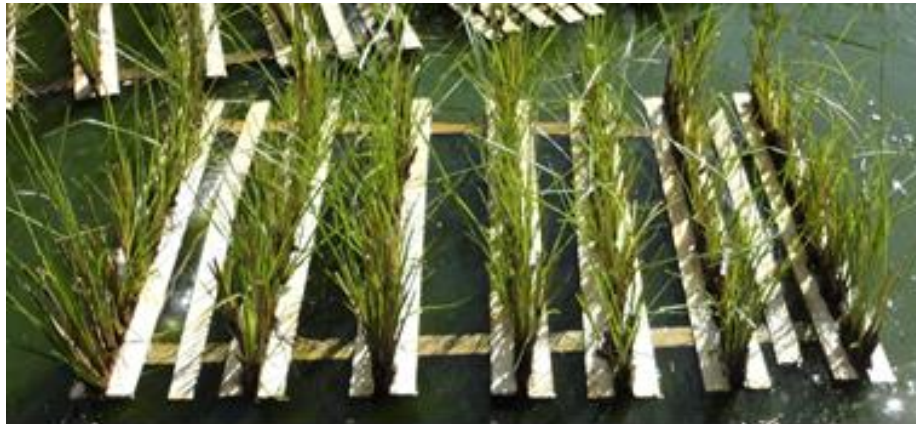
A metodologia adotada pelo laboratório segue as recomendações descritas na *Standard methods for the examination of water & wastewater* (APHA, 2005) conforme metodologia disponibilizada pelo laboratório. Para a DQO o laboratório usa como referência o método de refluxo fechado. Para o nitrogênio total o método de digestão utilizado é análogo a DIN EM ISO 11905-1. O fósforo total é analisado conforme procedimento análogo a EPA 365.2+3, APHA 4500-P E e DIN EM ISO 6878. O pH das amostras foi obtido com um pHmetro de bancada (BEL).

Os parâmetros de temperatura (T) e oxigênio dissolvido (OD) foram auferidos com um oxímetro portátil (modelo HI 9146) diretamente nas lagoas, a 20 cm de profundidade.

4.2 O Sistema Vetiver Hidropônico

A aplicação do sistema Vetiver foi apenas na lagoa 03 da indústria de laticínio. A montagem do sistema de ilhas flutuantes, as jangadas que objetivam dar suporte flutuante e fixar o capim Vetiver foi da seguinte maneira: foram montados os pallets de madeira de reflorestamento, com 7 fileiras de ripas duplas, na junção das ripas duplas foram inseridas as mudas em sequência, totalizando 40 mudas por fileira, sendo assim, cada pallet possui 280 mudas de Vetiver, conforme a Figura 02.

Figura 02. Jangada com as 7 fileiras de ripas duplas, pressionando as mudas do Vetiver.



Fonte: GIRARDELLO, 2015.

Posteriormente foram fixadas garrafas PET de 2 litros aos pallet de madeira para proporcionar a flutuabilidade do sistema, de forma a garantir que o sistema radicular permaneça em contato com o efluente, formando assim o suporte flutuante para o Vetiver. A Figura 03 ilustra a montagem das jangadas com os litros PET fixados na jangada, evidencia a posição das mudas na jangada e o tamanho das mudas, que em média, era de 10 cm para as raízes e a parte foliar de aproximadamente 20 cm.

Figura 03. Jangada com os litros PET fixos e visão das mudas do Vetiver.



Fonte: GIRARDELLO, 2015.

No total foram inseridos na lagoa 12 pallets, totalizando 3360 mudas no sistema, em seguida, os pallets foram unidos para facilitar a manipulação e manutenção do sistema, formando duas fileiras perpendiculares ao fluxo do efluente, como é visualizado na Figura 04. O sistema possui portanto uma densidade de 21 mudas.m⁻² de área superficial da lagoa.

Figura 04. Visão geral do sistema com as 12 jangadas unidas em 2 fileiras.



Fonte: GIRARDELLO, 2015.

O sistema de jangadas das ilhas flutuantes foram feitas em pallets de madeira tratada por proporcionar resistência, durabilidade, viabilidade econômica e facilidade de manuseio, tanto para verificar o desenvolvimento radicular como para futuras manutenções e podas que venham a ocorrer.

A densidade de mudas foi definida a partir de comparativos com outros estudos. A maioria dos estudos são de sistemas de alagados construídos, com meios de suporte para as mudas. Esses projetos utilizaram uma densidade de mudas de 3 a 6 mudas.m⁻² de Vetiver para efluentes industriais e de 10 a 12 mudas.m⁻² para chorume de aterro sanitários. Em experimentos com o sistema Vetiver hidropônico, ou seja, as ilhas flutuantes, a densidade de mudas geralmente é de 5 a 6 mudas.m⁻².

Ash e Truong (2004) desenvolveram um estudo longo com Vetiver, por mais de 3 anos, a fim de reduzir a carga de nutrientes de esgoto doméstico, antes de destiná-lo às zonas úmidas. Foi necessário prover o desenvolvimento pleno das plantas utilizadas para estarem com a zona de raízes bem desenvolvidas para atender aos resultados desejados.

O projeto foi dividido em duas fases. A primeira com o tratamento preliminar em lagoas, onde foram concebidos 21 pontões flutuantes com alta densidade de mudas, além disso, plantaram mudas de Vetiver nas margens das lagoas e o número de pontões poderia ser aumentado conforme a necessidade de atender a eficiência necessária. A segunda fase consistia no tratamento do efluente por terras alagadas com densidade de 3 mudas.m⁻².

Os resultados obtidos por Ash e Truong (2004) com o Vetiver hidropônico no primeiro experimento foram muito expressivos. O nitrogênio total nos anos 2002 e 2003 foram de 13 a 20 mg.L⁻¹ e em 2004 foram de 4,1 a 5,7 mg.L⁻¹, sendo que os valores iniciais eram de 30 a 80 mg.L⁻¹. Para o fósforo total nos anos 2002 e 2003 os resultados foram de 4,6 a 8,8 mg.L⁻¹ e para 2004 foram de 1,4 a 3,3 mg.L⁻¹, com valores iniciais de projeto de 10 a 20 mg.L⁻¹.

Truong e Hart (2001), realizaram um experimento com efluentes domésticos provenientes de tanque séptico, em sistema hidropônico. O estudo utilizou recipientes de 200 L e uma plataforma suspensa com as mudas de Vetiver que encobriam toda a superfície do recipiente. Os exemplares de Vetiver possuíam raízes de 78 cm de comprimento. Os resultados apresentaram remoção de 94% de nitrogênio total e de 90% para o fosforo total.

O estudo realizado por Ucker (2013), avaliou a remoção de nutrientes do esgoto doméstico pelo capim vetiver. As unidades experimentais que possuíam volume individual de 1 m³ onde foram transplantadas 7 mudas de Vetiver em cada unidade e a aplicação do esgoto apenas teve início 20 semanas após o transplante das mudas. Por um período de 200 dias coletaram-se amostras para determinação de nitrogênio amoniacal e fósforo total, considerando-se as taxas de evapotranspiração. O resultado do experimento mostra que os módulos com capim Vetiver atingiram percentuais de remoção que variam entre 70,2 a 90,5% de remoção do fósforo total e a eficiência na remoção do nitrogênio está entre 73,7 a 93,9%.

Como os estudos de Ash e Truong (2004), Truong e Hart (2001) e Ucker (2013) utilizaram maior densidade de mudas, por vezes até encobrindo todo o módulo teste, neste estudo, buscou-se implantar o sistema com densidade de mudas maior que 5 ou 6 mudas.m⁻². Foi possível implantar o sistema com uma densidade de 21 mudas.m⁻². Utilizou-se mudas com 50 dias de crescimento, esperando que seu desenvolvimento radicular ocorra no decorrer do experimento, contudo, como é mencionado nestes estudo, as raízes precisam estar bem desenvolvidas para se obter os resultados esperados.

4.3 Legislação

O efluente final do sistema de lagoas da indústria é direcionado à quarta lagoa para infiltração no solo. Conforme a Resolução n° 430 do CONAMA em seu artigo 2° a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Considerando o artigo 2° mencionado e que o efluente ao infiltrar no solo pode de alguma forma chegar a um manancial ou lençol subterrâneo e por conseguinte chegar aos rios, considera-se importante o controle dos parâmetros de saída do sistema para evitar contaminações subterrâneas tendo em vistas a proteção, minimização da contaminação dos recursos hídricos.

Considerando também que a Resolução n° 357 do CONAMA estabelece que a irrigação de solo para hortaliças e frutas que são consumidas cruas estão limitadas aos padrões de emissão de rio Classe I. E, mesmo que o efluente não seja lançado diretamente em um corpo receptor, considera-se e adota-se, como uma situação genérica para fins de situação ideal, os padrões de lançamento para rio Classe I, segundo a Resolução n° 357 do CONAMA, como comparativo aos resultados obtidos, de forma a resguardar a qualidade hídrica.

5. Resultados e discussão

Focando no desenvolvimento vegetativo do Vetiver, no presente estudo, observou-se em visitas à campo que o mesmo ocorreu lentamente nos primeiros trinta dias, como forma adaptativa do Vetiver ao efluente. Nos trinta dias posteriores, ou seja, 60 dias após a inserção do sistema, pode-se observar o início do desenvolvimento do sistema de raízes, além do incremento na altura da parte foliar, conforme a Figura 05. A partir deste período inicial constatou-se um rápido crescimento, atingindo na quarta coleta, 70 cm de altura na parte foliar

e 20 cm de comprimento das raízes, como pode ser observado na Figura 06 e comparado com a Figura 05.

Figura 05. Desenvolvimento do capim Vetiver após 60 dias de implantação do sistema.



Fonte: GIRARDELLO, 2015.

Figura 06. Desenvolvimento do capim Vetiver após 90 dias de implantação do sistema.



Fonte: GIRARDELLO, 2015.

Na quarta visita à campo foi verificada o crescimento de algas como pode ser observado na Figura 06. As condições de fluxo de efluente verificadas nas visitas às lagoas foram diferentes nas quatro campanhas de coleta. Apenas na terceira coleta as lagoas apresentavam fluxo contínuo de efluente de uma lagoa para outra. As condições climáticas foram favoráveis nas três primeiras coletas, apresentando-se ensolarado. Na quarta coleta estava chuvoso, sendo visível o acúmulo de água nas lagoas devido ao intenso período chuvoso.

A seguir, são analisados os resultados obtidos dos parâmetros de N, P, DQO, OD e Temperatura, confrontando-os com os limites estabelecidos na Resolução n° 357 do CONAMA.

O sistema Vetiver tem contribuído para a melhora do pH na lagoa estudada. As primeiras análises mostram que o pH da lagoa 03 estava acima do limite permitido na Resolução n° 357 do CONAMA, tanto da entrada como da saída, nas duas primeiras coletas, ou seja, os primeiros 30 dias. A partir desse período a variação do pH foi menor, permanecendo mais estável em comparação com a amostra da entrada da lagoa 01. A legislação limita como valor máximo para rio Classe I o pH de 9,0, como mostra a Tabela 01, o sistema Vetiver auxiliou para que este parâmetro permanecesse em conformidade.

Tabela 01. Resultados obtidos para o pH no sistema de lagoas.

Amostra/dias decorridos	pH			
	Entrada Lagoa 01	Entrada Lagoa 02	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03
1 ^a / 1° dia	7,35	7,48	9,17	9,33
2 ^a / 30 dias	8,22	9,98	9,52	9,20
3 ^a / 60 dias	8	7,3	7,60	7,60
4 ^a / 90 dias	8,01	7,85	8,02	8,20

Fonte: Elaborado pelo autor

Em uma primeira visita de reconhecimento no sistema de lagoas foi verificado que a lagoa 03 apresentava grande proliferação de algas, encobrendo toda a superfície da lagoa. Na quarta coleta, esta condição foi novamente verificada na lagoa 03. O problema com o efluente é que ao passar pelo sistema das três lagoas os nutrientes acabam fornecendo um ambiente propício para a produção de altas concentrações de algas, e por sua vez elevando o pH.

As concentrações de oxigênio dissolvido auferidas nas coletas não satisfazem a legislação que indica como ideal concentrações não inferiores a 6 mg.L⁻¹. Os resultados obtidos evidenciam que o efluente possui uma carga de matéria orgânica elevada, consumindo oxigênio em sua decomposição. Conforme mostra a Tabela 02, as concentrações de oxigênio dissolvido melhoraram na sucessão do sistema de lagoas, com exceção da quarta amostra que apresentou uma redução considerável da concentração de oxigênio. Nesta campanha de amostragem verificou-se a proliferação de algas, justificando esses valores devido ao consumo da matéria orgânica pelas algas.

Tabela 02. Resultados obtidos para o oxigênio dissolvido no sistema de lagoas.

Amostra/dias decorridos	OD (mg L ⁻¹)			
	Entrada Lagoa 01	Entrada Lagoa 02	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03
1 ^a / 1° dia	0,34	0,34	1,27	1,43
2 ^a / 30 dias	0,35	1,47	3,83	2,22
3 ^a / 60 dias	0,50	0,54	0,70	1,16
4 ^a / 90 dias	0,63	5,04	0,70	0,74

Fonte: Elaborado pelo autor

A temperatura verificada está dentro do esperado para o período conforme a Tabela 03. As primeiras amostras compreendem ao período final da estação inverno e as seguintes, à primavera, com a elevação das temperaturas e aumento da insolação diária. Estes fatores influenciam diretamente o sistema pois reproduz as condições necessárias ao desenvolvimento vegetativo.

Tabela 03. Resultados da temperatura no sistema de lagoas.

Temperatura (°C)				
Amostra/dias decorridos	Entrada Lagoa 01	Entrada Lagoa 02	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03
1^a/ 1° dia	20,2	19,8	21,1	20,7
2^a/ 30 dias	18,3	20,0	20,1	19,5
3^a/ 60 dias	23,4	23,5	25,0	25,0
4^a/ 90 dias	22,9	23,3	23,1	23,0

Fonte: Elaborado pelo autor

A Resolução n° 357 e 430 do CONAMA não padronizam a DQO, apenas a DBO_5 . Avaliou-se preferencialmente a DQO, pois esta, atua como um indicador de remoção da matéria orgânica apresentando um valor maior que a DBO, pois considera todas as frações, orgânicas e inorgânicas a serem decompostas quimicamente, além de sua análise não ser realizada por meio de diluições sequenciais, diminuindo os erros.

As análises indicam que ocorreu redução das concentrações de DQO com remoção de 28,93% na quarta amostra. Este resultado também é o melhor obtido em todas as coletas como mostra a Tabela 04.

Tabela 04. Resultados obtidos para a DQO na lagoa 03.

DQO (mg L⁻¹)			
Amostra/dias decorridos	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03	Remoção (%)
1^a/ 1° dia	272	260	4,41
2^a/ 30 dias	318	253	20,44
3^a/ 60 dias	270	235	12,96
4^a/ 90 dias	159	113	28,93

Fonte: Elaborado pelo autor

A legislação padroniza o nitrogênio amoniacal total conforme o pH do efluente. Conforme a Tabela 01 o pH do efluente é bem variável. Considerando as amostras cujo período o capim estava mais desenvolvido, também percebe-se que as amostras apresentam menor variação de pH, ou seja, a terceira e quarta amostra, a concentração de nitrogênio, segundo a Resolução n° 357 do CONAMA, deveria ser de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$, ou no mínimo, $2,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$. Observa-se na Tabela 05 que isso não ocorre, os níveis estão acima do permitido caso este efluente fosse destinado a um rio Classe I.

Tabela 05. Resultados das análises do nitrogênio total na lagoa 03.

Nitrogênio Total (mg L⁻¹)			
Amostra/dias decorridos	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03	Remoção (%)
1^a/ 1° dia	16	12	25,00
2^a/ 30 dias	17	16	5,88
3^a/ 60 dias	15	10	33,33
4^a/ 90 dias	10	8	20,00

Fonte: Elaborado pelo autor

A remoção do nitrogênio foi mais representativa na terceira campanha de amostragem. Os resultados do nitrogênio total servem como base para futuras comparações pois, como na

primeira amostra obteve-se uma remoção melhor que a segunda e quarta amostra, não é plausível afirmar que esta remoção ocorreu pela introdução do Vetiver na lagoa.

Siqueira (2014) obteve eficiência de 35,87% na remoção de nitrogênio amoniacal em seu estudo que avaliou a eficiência do sistema de alagados construídos com Vetiver no tratamento da fração líquida do resíduo de fossa e tanque séptico. O sistema experimental recebeu mudas bem desenvolvidas, com tamanho médio de 20 cm de raízes e 40 cm de comprimento da parte foliar. O efluente foi analisado pelo período aproximado de quatro meses.

Lautenschlager (2001) em sua revisão bibliográfica relativa à eficiência de wetlands construídos observou que os dados de remoção de nitrogênio total e fósforo total possuem comportamento complexo sendo que, a remoção pode apresentar valores negativos.

Para o fósforo, a Resolução n° 357 do CONAMA padroniza sua concentração conforme cada ambiente do corpo receptor, podendo ser ambiente lêntico, intermediário ou lótico. As concentrações do fósforo são bem restritivas pelo fato se influenciarem na eutrofização de rios e lagos. Os resultados não atendem aos padrões da legislação.

Neste estudo o melhor resultado foi obtido na quarta amostra, com remoção de 25,00% do fósforo total, como mostra a Tabela 06, podendo ser indicador do início da remoção do fósforo pelo sistema.

Tabela 06. Resultados das análises do fósforo total na lagoa 03.

Amostra/dias decorridos	Fósforo Total (mg L ⁻¹)		
	Entrada Lagoa 03	Saída Lagoa 03	Remoção (%)
1 ^a / 1° dia	4,1	4,0	2,44
2 ^a / 30 dias	4,3	4,2	2,32
3 ^a / 60 dias	4,1	3,8	7,32
4 ^a / 90 dias	3,6	2,7	25,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Siqueira (2014), obteve em seu experimento de alagados construídos, remoção média de 38,10% para o fósforo total.

No estudo realizado por Hart, Cody e Truong (2003) as plantas de Vetiver foram submetidas a três experimentos em sistema hidropônico. No primeiro experimento cultivaram as mudas em tambores de 20 L até atingirem o fundo do tambor, aos dois anos de idade, para então adicionar efluente com fluxo de 20 L.min⁻¹, em condições de temperatura elevada, 37,7 °C. Apresenta uma taxa de redução de N de 3,75 g.m⁻².dia⁻¹ e a taxa de redução de P é de 0,28 g.m⁻².dia⁻¹, indicando uma redução considerável de N e P comparativamente com outras plantas avaliadas e devido as altas temperaturas.

A influência da temperatura para a remoção do fósforo também pode ser observada neste experimento. Comparando a tabela 03 da temperatura com a tabela 06 da remoção do fósforo observa-se que na quarta coleta ocorreu uma representativa remoção de fósforo, com temperatura de 23°C.

Uma observação importante a ser feita é com relação aos valores apresentados sobre a remoção dos parâmetros N, P, e DQO. São avaliados apenas os valores obtidos na lagoa 03, pois este estudo avalia a eficiência do sistema Vetiver hidropônico em condições reais de adversidades. A eficiência geral de todo o sistema de lagoas não está sendo avaliado neste estudo.

6. Considerações finais

O presente estudo vem corroborar para a edificação de alternativas ao tratamento de efluentes e correta gestão dos resíduos. O sistema hidropônico desenvolvido realmente mostrou-se fácil de implantar e manipular, fornecendo suporte estável e resistente para as plantas.

Com os resultados apresentados nas análises laboratoriais, têm-se um indicativo de melhora na qualidade do efluente, propiciado pelo desenvolvimento expressivo do capim Vetiver no último mês analisado, comparativamente com o período anterior, seu crescimento mais que dobrou, tanto da porção foliar como das raízes.

Levando-se em conta que o experimento está inserido em uma indústria em pleno funcionamento, o desenvolvimento das plantas e a eficiência do sistema estão sujeitos as condições e adversidades climáticas, sendo assim, fornecem um estudo prático para além das condições de controle de um experimento laboratorial.

Os estudos mencionados anteriormente evidenciam a melhora expressiva na remoção dos nutrientes mas também elenca a importância de avaliações por períodos longos, não apenas alguns meses e sim de vários anos. Ressalta-se que os resultados estão fortemente ligados ao grau de desenvolvimento das mudas do Vetiver, influenciando na obtenção da eficiência desejada. Com o capim Vetiver bem desenvolvido, pode-se então chegar às conclusões mais precisas.

Tendo em vista os aspectos observados sobre o sistema Vetiver e a perspectiva de seu crescimento vegetativo, o projeto terá seguimento, sendo analisando por um período maior de tempo. Espera-se que o capim Vetiver desenvolva-se bem, atingindo um sistema de raízes vigoroso, além de motivar seu crescimento com podas frequentes e para alcançar os resultados esperados. Outra alternativa, para melhorar os resultados do sistema, sugere-se, aumentar o número de pallets, aumentando assim a densidade de mudas.m⁻².

No Brasil ainda são escassos os estudos sobre os sistemas de ilhas flutuantes, e principalmente, os sistemas de tratamento de efluentes, indústrias ou sanitárias, que utilizam vegetação para o tratamento. A fitoremediação, comum em muitos países, podem agregar diversas tipologias construtivas e agregando um tratamento paisagístico, podem ser bem aceitas pela população, sendo o oposto do que se verifica com as estações de tratamento convencionais.

EFFICIENCY RATE OF GRASS VETIVER IN NUTRIENT REMOVAL IN PONDS OF TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE

Abstract

The search for new technologies and optimization of processes for the treatment of wastewater is essential to cover the most varied situations of location and availability of resources combined with environmental protection. Aiming at preserving the quality of water resources coupled with economic development. The treatment of effluents by phytoremediation has meeting this need. The assessment of efficiency in remove nutrientes of grass Vetiver hydroponic in hybrid system with the facultative pond of wastewater treatment from a dairy industry is the purpose of this study. The Vetiver System was inserted into the pond in pallet rafts. The plants had 50 days of development, with 21plants.m⁻² density. The experiment assess monthly the parameters of total nitrogen, total phosphorus, chemical oxygen demand, pH, dissolved oxygen and

temperature of the effluent. The results corresponding to 90 days of vegetative growth, reaching 0.70 m high leaf mass and only 0.20 m of root system. The assessment indicates an improvement of pH and total phosphorus parameters, especially for the last evaluation period, where we observed excellent plant growth. This project will be followed up to obtain a vigorous root system. The efficiency of Vetiver hydroponic system depends on their stage of development, and in this case also suffers the influence of the flow and characteristics of the effluent and climate changes. All these factors will provide further assessment in real conditions, the Vetiver system.

Keywords: Vetiver grass. Floating islands. Treatment effluent.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water & wastewater**. 21 st ed. [s. l.], Centennial, 2005.

ASH, Ralph. TRUONG, Paul. **The use of vetiver grass for sewerage treatment**. Austrália. [s. n.] 2004. Disponível em: <http://vetiver.com/AUS_ekeshire01.pdf> Acesso em: 20 abr. 2015.

BARRETO, Cassiano de Oliveira. **Eficiência de leito de macrófitas como unidade de polimento de efluente de indústria de aditivos para ração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP: [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000385412>> Acesso em: 23 mar. 2015.

BONZI, Ramón Stock. **Paisagem como infraestrutura de tratamento das águas urbanas**. Revista Labverde n° 6. São Paulo. 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61875/64712>> Acesso em: 29 mar. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução no 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera

a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

HART, Barbara. CODY, Ron. TRUONG, Paul. **Hydroponic Vetiver Treatment of Post Septic Tank Effluent**. Austrália. [s.n.]. 2003. Disponível em:
<http://www.betuco.be/coverfodder/Vetiver%20Grass%20AUS_hydroponic.pdf> Acesso em: 20 mar. 2015.

LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas**. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2001. Disponível em:
<<http://www.dec.uem.br/mbr/dissertacaosrl.pdf>> Acesso em: 27 maio 2015

PRADO, Michella Christian do. CABANELLAS, Claudia Figueiredo Garrido **Eficiência do sistema alagado construído no tratamento de efluentes de laticínios em relação a ultrafiltração e filtro biológico**. Minas Gerais. 2008. Disponível em:
<http://www.cefetbambui.edu.br/str/artigos_aprovados/Meio%20Ambiente/55-PT-1.pdf> Acesso em: 06 abr. 2015.

SMEAL, Cameron. HACKETT, Margo. TRUONG, Paul. **Vetiver System for Industrial Wastewater Treatment in Queensland, Australia**. Austrália. [s.n.]. 2003. Disponível em:
<http://www.vetiver.org/ICV3-roceedings/AUS_indus_wastewater.pdf> Acesso em: 20 mar. 2015.

SIQUEIRA, E. R. **Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <
<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/2936/5/Tratamento%20dos%20res%20C3%ADduos%20de%20fossas%20e%20tanques%20s%20C3%A9pticos%20em%20um%20sistema%20de%20alagado%20constru%20C3%ADdo.pdf>> Acesso em: 10 ago. 2015.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: DESA, 2005. V. 452 p.

TRUONG, Paul. HART, Barbara. **Vetiver system for wastewater treatment**. Austrália. [s.n.]. 2001. Disponível em: <http://vetiver.com/PRVN_wastewater_bul.pdf> Acesso em: 15 ago. 2015.

TRUONG, Paul. VAN, Tran Tan. PINNERS, Elise. **Sistema de aplicação vetiver**. Manual de referência técnica. Traduzido por Paulo R. Rogerio, 2^a Edição, [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgZBwAJ/vetiver-bra-brazil-port>> Acesso em: 10 fev. 2015.

UCKER, Fernando Ernesto. ALMEIDA, Rogério de Araújo. **Utilização do capim vetiver na remoção de nutrientes do esgoto doméstico**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais. V. 1, n. 2 – Ucker e Almeida, p. 267-275, 2013.