

II-133 – ECOLOGIA DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM MACRÓFITAS LEMNÁCEAS APLICADAS NO POLIMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Camila Cassuly Teles⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Rodrigo de Almeida Mohedano⁽²⁾

Biólogo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Aquicultura pela UFSC. Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC. É professor visitante no PPGEA/UFSC.

Gustavo Tonon⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela UDESC-SC. Mestrando em Engenharia Ambiental no PPGEA/UFSC.

Paulo Belli Filho⁽⁴⁾

Eng. Sanitarista e Ambiental. Doutorado em Química Industrial e Ambiental – Université de Rennes I. Pós-doutorado na Ecole Polytechnique de Montreal. É professor Titular na Universidade Federal de Santa Catarina.

Rejane Helena Ribeiro da Costa⁽⁵⁾

Eng. Civil. Doutorado em Tratamento e Qualidade das Águas no Institut National des Sciences Appliquées (INSA, Toulouse, França), Pós-Doutorado na Université Montpellier I (França). É Professora Titular na Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Campus Reitor João David Ferreira Lima Dpto de Eng. Sanitária e Ambiental – Bairro Trindade – Florianópolis – Santa Catarina – Brasil – CEP 88040-970 – Tel: +55 (48) 3721-7743 - e-mail: (1) camila_cassuly@hotmail.com.

RESUMO

Considerando a problemática da eutrofização em corpos receptores, as lagoas de lemnas têm demonstrado um grande potencial para remoção de nutrientes (N e P) de efluentes domésticos. Pois as macrófitas lemnáceas apresentam elevadas taxas de absorção de nutrientes, além de produzirem uma biomassa passível de valorização. Porém, a influência da dinâmica microbiana nestes sistemas de tratamento é pouco estudada. Deste modo, o presente estudo visou avaliar o potencial de lagoas de lemnas para o polimento do esgoto doméstico, com enfoque na dinâmica da microbiota associada às lemnas. Para isso, foi desenvolvido um experimento em escala piloto, composto por duas lagoas de lemnas (L1 e L2) em série (10,8m² e TDH de 17 dias cada) para o tratamento de esgoto doméstico. O sistema foi operado com uma vazão de 200 L.dia⁻¹, carga orgânica de 2,5 g DQO.m⁻².d⁻¹ e monitorado por meio de parâmetros físicos e químicos (OD, pH, N-NH₃, NT, N-NO₂, N-NO₃, PT, P-PO₄, SST e DQO). A avaliação microbiológica foi feita por meio da caracterização e contagem de zooplâncton, e do sequenciamento genético, realizado para identificação e quantificação de grupos bacterianos. Como resultados, observou-se uma eficiência de remoção de nutrientes de NT = 91% e PT = 93%, produzindo um efluente com concentrações de 5,3 e 0,5 mg.L⁻¹ para NT e PT respectivamente. As análises do zooplâncton revelaram uma elevada densidade de microcrustáceos chegando a aproximadamente 30.000 ind.L⁻¹. O sequenciamento genético revelou diversidade de gêneros bacterianos, incluindo organismos patogênicos, nitrificantes, desnitrificantes e fixadores de nitrogênio. Conclui-se que as lagoas de lemnas operadas sob as condições avaliadas atingiram remoção de nutrientes enquadrando o efluente nos padrões de lançamento da legislação vigente. E que os organismos associados às macrófitas desempenham uma importante função no sistema, com variações sazonais, principalmente na remoção de sólidos suspensos e na transformação de nutrientes.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de lemnas, tratamento de efluentes, esgoto doméstico, microbiota, biologia molecular.

INTRODUÇÃO

O esgoto doméstico pode apresentar elevadas concentrações de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, além da contaminação fecal, por agentes patogênicos, mesmo após o tratamento. Quando os nutrientes são lançados nos

ecossistemas aquáticos podem induzir o processo de eutrofização causando diversos danos aos corpos receptores.

Como alternativa para efetivar a remoção de nutrientes dos esgotos domésticos está o uso de lagoas de tratamento com macrófitas aquáticas. Estes sistemas têm sido propostos e utilizados no tratamento terciário de águas residuárias, tais como as domésticas, industriais e de suinocultura. Este tipo de configuração de lagoas de estabilização é caracterizado pela presença de uma espécie de planta aquática que cobre totalmente a superfície da lagoa trazendo benefícios como: a redução de algas, a absorção direta dos nutrientes, a redução de odores e superfície para fixação de biofilme, entre outros.

As lagoas que utilizam macrófitas lemnáceas para o tratamento de efluentes domésticos têm sido aplicadas com sucesso em diversos países, como Brasil, China, EUA e Índia (BRUGNAGO, 2014; ZHAO, 2015; IQBAL, 1999). É uma tecnologia promissora, visto que alia a eficiência para o polimento de efluentes com o baixo custo e baixa complexidade operacional do sistema.

Considerando a potencialidade do uso das lagoas de lemnas para o tratamento e valorização de efluentes e o restrito conhecimento desta tecnologia no Brasil, o presente estudo visou compreender a relação entre a comunidade biológica e a eficiência do tratamento de esgoto doméstico em lagoas de lemnas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição e operação do sistema piloto

O estudo foi desenvolvido em um sistema experimental, em escala piloto, instalado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Florianópolis, SC, Brasil. Este sistema era formado por tanques de equalização (TE's) e duas lagoas de lemnas, todos em fibra de vidro. A capacidade total de armazenamento dos 3 tanques de equalização é de 11 m³. As lagoas de lemnas (L1 e L2) estão dispostas em série e possuem as mesmas dimensões (4,20 x 2,40 x 1,00 m) ocupando uma área total de 10,08 m² e área útil de 8 m². A altura da coluna d'água é de 42 cm em ambas as lagoas, totalizando um volume útil de aproximadamente 3500 L.

O esgoto doméstico era proveniente de um condomínio residencial, sendo coletado após o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de gordura) e transportado por caminhões limpa-fossa. Na unidade piloto, o esgoto era armazenado e aplicado no sistema de tratamento por meio de uma bomba peristáltica. A população de macrófitas lemnáceas da espécie *Landoltia punctata* utilizada neste estudo estava adaptada ao sistema há mais de 3 anos. A retirada da biomassa durante a operação foi feita duas vezes por semana, com o intuito de preservar a densidade da população entre 500 e 800 g.m⁻².

O sistema operava em fluxo contínuo a uma vazão de 200 L.d⁻¹. Após os TE's o esgoto seguia por gravidade para L1 e L2. O esgoto ficava armazenado durante 25 dias nos TE's, sendo que o tempo de detenção hidráulico (TDH) era de 17 dias nas lagoas de lemnas. O elevado tempo de armazenamento nos tanques foi dimensionado para proporcionar um efluente com características terciárias, ou seja, baixa relação C:N.

O dimensionamento das lagoas foi feito com base na carga de amônia a ser aplicada, pois, segundo Caicedo (2005), a concentração de amônia pode ser um fator limitante para o funcionamento das lagoas de lemnas, cargas muito elevadas podem causar efeito tóxico nas macrófitas. A carga média aplicada nas lagoas deste experimento foi de 12,3 kg N-NH₃.ha⁻¹.d⁻¹, com média de concentração de 49,2 mg N-NH₃.L⁻¹. Considerando a carga orgânica, a taxa superficial aplicada foi de 25 kgDBO.ha⁻¹.d⁻¹.

Monitoramento e análises

O período de monitoramento foi de setembro de 2014 a julho de 2015, totalizando 314 dias. As análises físicas e químicas foram realizadas semanalmente para os pontos de entrada e saída de cada lagoa. Os parâmetros analisados foram nitrogênio amoniacal (N-NH₃), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), N-NO₂, N-NO₃, P-PO₄, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST) segundo a metodologia padrão APHA (2005), além de oxigênio dissolvido (OD), pH e ORP por meio de sondas portáteis.

Para a caracterização do zooplâncton nas lagoas de lemnas, as amostras foram coletadas em pontos de superfície e meio da coluna d'água, com volume conhecido (200mL). As amostras do meio líquido foram filtradas em copos de separação de plâncton, com malha de abertura de 30µm, para concentrar os organismos presentes no meio. Conforme a metodologia descrita pela CETESB (2012), cada amostra foi preservada em solução de formol 4%, e posteriormente, em câmara de Sedgwick-Rafter, foram contados todos os organismos presentes em 1mL, para a obtenção do número de organismos presentes na amostra por litro de efluente analisado. As análises aqui descritas foram realizadas quinzenalmente.

Com o intuito de identificar e quantificar os grupos bacterianos presentes nas amostras, foi realizado o sequenciamento de DNA através da tecnologia Illumina MiSeq®, com a amplificação da região V3-V4 (341-806) do gene ribossomal 16S. O sistema garante a leitura de 100.000 sequências por amostra, com a identificação taxonômica e a quantificação do número de sequências obtidas de cada táxon. O sequenciamento de DNA foi realizado em amostras de pontos de superfície e pontos do lodo de cada lagoa de lemna, totalizando 4 pontos no sistema. As amostras foram coletadas em Março/2015 (verão), Junho/2015 (inverno) e Setembro/2015 (primavera).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eficiência das lagoas de lemnas durante o período experimental

De modo geral o sistema de lagoas de lemnas apresentou elevadas eficiências, principalmente para a remoção de nutrientes. A tabela 1 apresenta os valores médios e eficiências do sistema ao longo do período experimental.

Tabela 1. Valores médios, desvio padrão e eficiência de remoção dos parâmetros avaliados, em todas as etapas do sistema de tratamento.

| Parâmetros n=41 | Afluente L1 (AL1) | Efluente L1 (EL1) | Efluente L2 (EL2) | Eficiência (%) | Cargas (kg.ha ⁻¹ .d ⁻¹) |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---|
| pH | 7,0 ± 0,2 | 7,0±0,2 | 6,8±0,3 | - | - |
| OD (mg.L ⁻¹) | 1,3±1,3 | 1,5±1,5 | 1,3±1,2 | - | - |
| DQO(mg.L ⁻¹) | 99,7±52,6 | 37,4±11,6 | 32,9±13,7 | 67,0 | 24,9 |
| NT (mg.L ⁻¹) | 59,4±19,1 | 20,6±10,9 | 5,3±5,0 | 91,1 | 14,8 |
| N-NH ₄ (mg.L ⁻¹) | 49,2±16,2 | 15,5±6,3 | 2,1±2,8 | 95,6 | 12,3 |
| N-NO ₂ (mg.L ⁻¹) | 0,07±0,3 | 0,1±0,2 | 0,1±0,1 | - | - |
| N-NO ₃ (mg.L ⁻¹) | 0,02±0,1 | 0,3±0,5 | 0,4±0,7 | - | - |
| PT (mg.L ⁻¹) | 6,7±1,9 | 2,1±1,2 | 0,5±0,7 | 92,7 | 1,6 |
| P-PO ₄ (mg.L ⁻¹) | 3,8±1,9 | 1,2±0,8 | 0,3±0,5 | 93,1 | 0,9 |

Como era esperado, o esgoto afluente ao sistema apresentou uma baixa relação C:N. O pH manteve-se próximo à neutralidade durante o período experimental (entre 6,5 e 7,5) propiciando a estabilidade dos processos biológicos. Para o oxigênio dissolvido (OD) observou-se que durante o verão, outono e inverno, as médias variaram entre 1,5 e 2,8mg OD.L⁻¹ em EL1, e 1,2mg OD.L⁻¹ em EL2. Contudo, em alguns momentos do monitoramento o OD aproximava-se de zero devido aumentos de carga. O aumento da carga de esgoto aplicada propicia o aumento do número de comunidades microbianas e a formação de biofilme nas raízes das lemnas, sendo assim, o consumo de OD por microrganismos pode ter sido maior que a incorporação de oxigênio na água pela fotossíntese das lemnas (BRUGNAGO, 2014).

A presença de OD em lagoas de lemnas é um ponto divergente entre os autores, conforme descreve Mohedano et al., (2012, 2014), ao mesmo tempo em que a atividade fotossintética favorece a oxigenação, a cobertura vegetal diminui a superfície de contato com a atmosfera reduzindo a difusão do oxigênio. Contudo, o OD foi

suficiente para promover a degradação da matéria orgânica a uma eficiência superior a 60%, mesmo com as baixas concentrações afluentes.

Remoção de nutrientes (N e P)

Durante o período experimental, pode-se perceber uma elevada remoção dos compostos fosfatados e nitrogenados. Na Figura 1 estão apresentados os valores obtidos para fósforo total (PT), P-PO₄, nitrogênio total (NT) e N-NH₃, ao longo do período estudado. Para o fósforo total a eficiência de remoção das lagoas alcançou 93%, sendo que a maior parte da remoção ocorreu em L2 (77%), as maiores eficiências de remoção ocorreram durante o verão e o outono. Destaca-se que durante todo o período experimental, a remoção de PT foi satisfatória, atendendo a legislação estadual (Lei 14675/2009 - SC) que estabelece o limite de 4mg PT.L⁻¹ para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

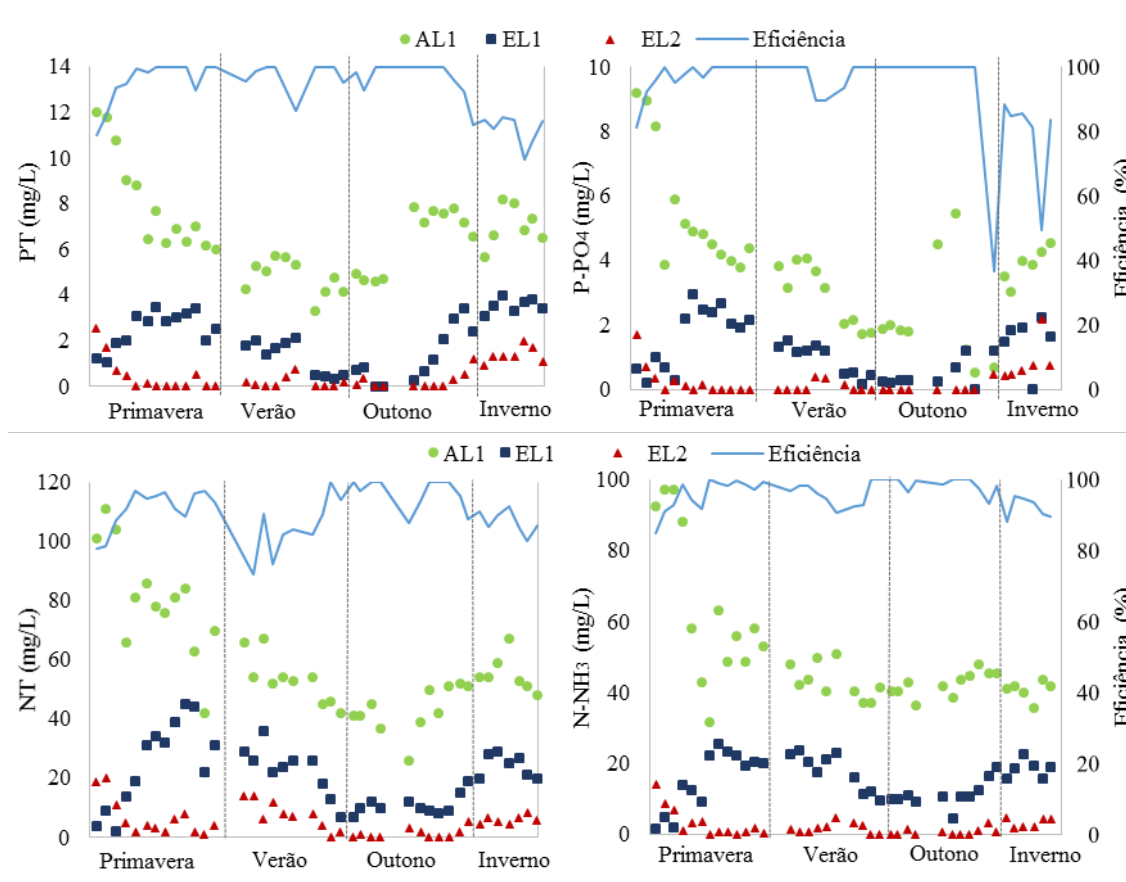


Figura 1. Variações das concentrações de NT, N-NH₃, PT e P-PO₄ e eficiência de remoção ao longo do período experimental, no afluente e efluente de cada lagoa (L1 e L2).

Os valores de remoção de fósforo obtidos no presente trabalho são superiores a maioria dos trabalhos encontrados na literatura, como é o caso de Priya (2012), que obteve uma remoção de 79% utilizando *Lemna minor*. El-Shafai et al. (2006) com um sistema de lagoas por lemnas como pós-tratamento de um reator UASB relataram remoção de 78% de fósforo, já Zhao et al. (2015) destacaram a obtenção da maior remoção de PT durante o verão e o outono, trabalhando com concentrações iniciais médias de 3,5mg PT.L⁻¹. Iqbal (1999) esclarece que quanto maior a taxa de crescimento das lemnas, maior será a remoção de fósforo por mecanismos de absorção do PO₄³⁻ pelas lemnas, e ressalta a importância da colheita periódica para maximização da eficiência de remoção.

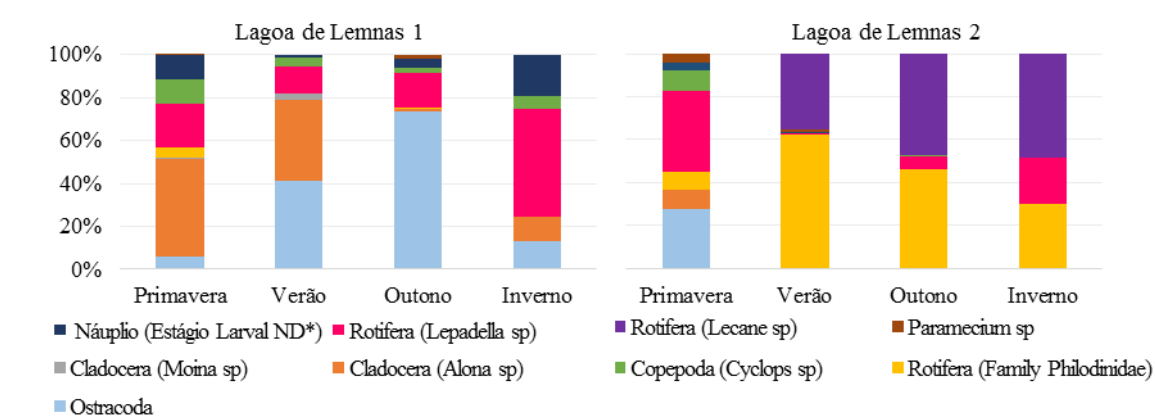
Para o nitrogênio total a concentração média de entrada na lagoa 1 foi de 59,7 mgNT.L⁻¹ e saída do sistema de 5,3 mg NT.L⁻¹, com 91% de eficiência de remoção. Tanto para N-NH₃ quanto para NT a maior parte da remoção ocorreu em L2, 86% e 74%, respectivamente. Os valores encontrados estão de acordo com outros estudos, como Xu e Shen (2011) que utilizaram *S. oligorrhiza* para tratamento de dejetos suínos, com

concentração inicial de 52,1 mgN-NH₄.L⁻¹, obtiveram remoções de 85,3% e 100% após uma e duas semanas, respectivamente. Brugnago (2014) obteve remoção de 88% aplicando uma concentração média de 49 mg N-NH₃.L⁻¹ no sistema. Em relação ao nitrito e nitrato, os valores foram muito baixos nas amostras analisadas (sempre inferiores a 0,5 mg.L⁻¹). Este fato pode ser explicado devido à taxa de consumo pelas plantas ser maior do que a velocidade de nitrificação. Deste modo, acredita-se que a absorção direta de nutrientes pelas plantas (fito extração) é a principal via de remoção.

Avaliação da Microbiota

A maioria dos organismos zooplactônicos encontrada (Ostracoda, cladoceras e copepodas) são microcrustáceos. O grande benefício de densas populações de zooplâncton que persistem em lagoas é o aumento da eficiência de processamento de águas residuais, resultante da alimentação realizada pelos organismos, que ajudam na remoção das partículas de matéria orgânica presentes no meio (DAWIDOWICZ; OZIMEK, 2013).

Como resultados obtidos na contagem dos organismos de superfície, apresentados na Figura 2, notou-se que na L1, a *Alona* sp (cladocera) apareceu em maior quantidade nas amostras analisadas na primavera, tendo como média 2.144 organismos/100mL, no verão e outono, os organismos da classe Ostracoda foram os mais recorrentes, com média de 1.630 organismos/100mL. Já no inverno o rotífero *Lepadella* sp apareceu em maior quantidade (1.525 org./100mL). A maioria dos cladoceros são filtradores, se alimentam de algas, detritos, biofilmes e material orgânico suspenso (DOLE-OLIVER et al., 2000).



*Não Definido

Figura 2. Representação gráfica da abundância relativa de zooplâncton na rizosfera das Lagoas de Lemnas.

Ansa et al. (2012) explica que os ostracodas agem como filtradores e podem se alimentar de bactérias e protozoários ligados as frondes das lemnas, o que justifica a principal ocorrência desses organismos na superfície das lagoas de lemnas. Os rotíferos, cladóceras e copépodas consomem bactérias, algas, protozoários e detritos orgânicos contribuindo dessa forma para a clarificação do efluente.

Para as amostras do meio da coluna d'água da DP1 destaca-se o protozoário ciliado - *Paramecium* sp sendo o organismo mais frequente nas lagoas de lemnas com média de 883 org./100mL durante o período estudado. Os protozoários, especialmente os ciliados, desempenham importante papel nos processos biológicos de tratamento de esgotos contribuindo na remoção de bactérias patogênicas, DBO₅ e dos SS. No meio da coluna d'água na DP2 os organismos mais abundantes foram rotíferos da família Philodinidae (691 organismos/100mL), durante o verão.

Em comparação ao estudo de ANSA et al. (2012) que avaliaram uma sequência de 4 lagoas de lemnas e registraram uma média de 29.954 ostracodas/100mL na primeira lagoa, e nas lagoas sequenciais esse valor foi diminuindo gradativamente até chegar em 1749 indivíduos/100mL na última lagoa, enquanto os cladoceras foram mais presentes nas lagoas 2 e 3, com média de 62 indivíduos/100mL nessas lagoas, pode-se perceber que a quantidade e variabilidade de organismos presentes nas lagoas são influenciadas tanto pelas variáveis físicas e químicas em que o sistema é submetido, quanto pelas variáveis climáticas da região do estudo.

Por meio dos resultados do sequenciamento de DNA foi possível identificar 341 gêneros de bactérias, totalizando 45.993 sequências de genes bacterianos, adquiridos a partir de 12 amostras. Com a figura 3 percebe-se que o verão foi a estação com maior presença de bactérias entre as amostras, o que pode estar relacionado com o aumento da temperatura.

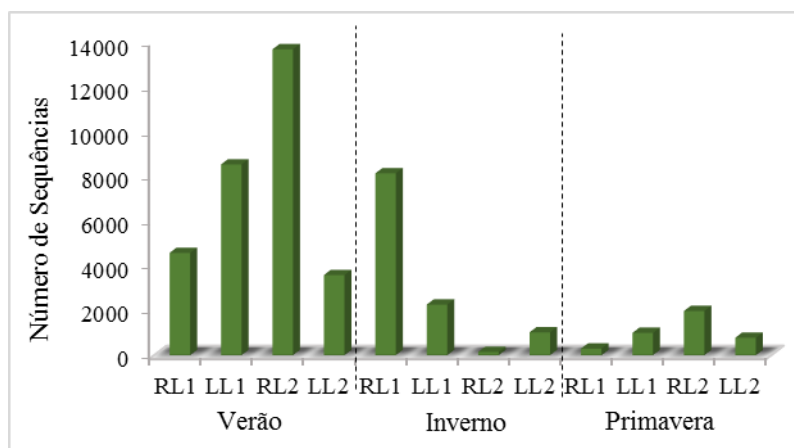


Figura 3. Número total de sequências encontradas no sequenciamento de DNA. LL1: Lodo da L1; RL1: Rizosfera da L1; LL2: Lodo da L 2; RL2: Rizosfera da L2.

Destaca-se que a comunidade bacteriana é bem heterogênea em todas as amostras. A maioria das bactérias encontradas é heterotrófica, que degradam matéria orgânica. Foram detectadas algumas bactérias patogênicas, como a *salmonella* e a *Escherichia coli*, que estava presente em todas as amostras, porém em quantidades muito baixas (inferiores a 0,01% das sequências). Provavelmente o elevado TDH juntamente com a predação foram responsáveis pela elevada remoção de coliformes termotolerantes.

As bactérias nitrificantes (Figura 4) foram encontradas em frequências relativas inferiores a 4%, pois sendo organismos autotróficos de crescimento lento sua baixa concentração é esperada. Em estudo similar, Zhao *et al.* (2015) relatam uma abundância de bactérias nitrificantes de aproximadamente 1,5% na rizosfera com níveis significativos de nitrificação. Contudo, foram observadas bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 4), como o *Rhizobium* sp., *Agrobacterium* sp. e *Azospirillum* sp. (somando 30% em alguns períodos), as quais podem ter grande influência na dinâmica deste nutriente no sistema.

A diversidade de bactérias envolvidas no ciclo do nitrogênio encontradas nas amostras analisadas é um indicador das múltiplas possibilidades de transformações biológicas de nitrogênio nas lagoas de lemnas. Porém, é importante destacar que as porcentagens aqui expressas para apresentar as proporções das bactérias, foram considerando-se 100% das bactérias identificadas de cada amostra a nível taxonômico de gênero. Portanto, outras bactérias não identificadas podem estar participando dos processos de remoção e transformações de compostos poluentes.

Como nesse sistema de tratamento o foco é a remoção de nutrientes pelas lemnas, as lagoas foram operadas com baixo carbono, sendo assim a relação de alimento para sustentar a biomassa de bactérias é baixa, dificultando seu crescimento. Neste contexto, as lemnas têm um papel mais importante que o papel dos microrganismos.

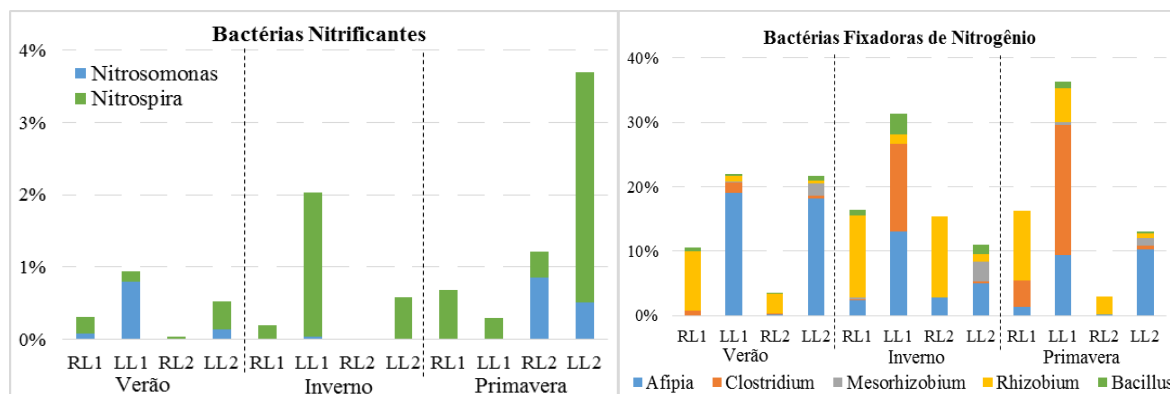


Figura 4. Porcentagem de organismos nitrificantes e fixadores de nitrogênio em relação ao total de bactérias. RL1: Rizosfera da L1; LL1: Lodo da L1; RL2: Rizosfera da L2; LL2: Lodo da L2.

CONCLUSÕES

O sistema de lagoas de lemnas realizou um eficiente tratamento de esgoto doméstico. Na remoção de nutrientes, destacou-se a remoção de fósforo de 93%, bem como a remoção de nitrogênio amoniacal de 96% e nitrogênio total de 91%, produzindo um efluente com concentração de 5,3 mg NT.L⁻¹, 2,1 mg N-NH₃.L⁻¹ e 0,5 mg PT.L⁻¹, atendendo a todos os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelas legislações vigentes (CONAMA 430 e SC).

A comunidade de microcrustáceos como cladóceras (*Alona sp*) e ostrácodas estavam presentes em altas concentrações, com média de 2.815 org./100mL na L1, resultando em baixa turbidez e SST (<10 NTU e <30 mg SST/L) durante todas as estações.

As lagoas de lemnas apresentaram alta diversidade de grupos bacterianos, totalizando 341 gêneros identificados, dentre eles: organismos patogênicos, nitrificantes, desnitrificantes e fixadores de nitrogênio, com médias de 9,2%, 0,9%, 33,7% e 16,7%, respectivamente, no entanto, uma forte dinâmica das populações pode ser destacada ao longo do período, sendo esta esperada em amostras ambientais (coletadas em campo aberto).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA.2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
2. BRUGNAGO, N. Avaliação de Lagoas de Lemnas (*Landoltia punctata*) para o polimento de esgoto sanitário e fixação de gás carbônico. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.
3. CETESB. L5.304: Zooplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo. 2 ed. São Paulo: 2012. 13 p.
4. DAWIDOWICZ, Piotr; OZIMEK, Teresa. Cladoceran *Moina branchiata* can not reduce suspended solids in Lemna System macrophyte wastewater treatment plant. *Ecological Engineering*, Warsaw, v. 58, n. 1, p.262-265, set. 2013.
5. DOLE-OLIVIER, M. -j. et al. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*, Villeurbanne, v. 44, n. 1, p.63-91, jan. 2000.
6. El-Shafai S. A., El-Gohary F., Nasr F.A., Van der Steen N. P., Gijzen H. J. 2006 Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed pond system. *Bioresource Technology*. 98, 798-807.
7. Iqbal, S. 1999 Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations, for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. Switzerland. SANDEC report n.6, pp. 91.
8. Körner, S.; Vermaat, J.E. 1998 The relative importance of Lemnagibba, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. *WaterResearch*. 32 (12), 3651- 366.

9. MOHEDANO, R. A. Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 270p. 2010.
10. MOHEDANO, R. A.; Costa, R. H. R.; Tavares, F. A.; Belli Filho, P. 2012a High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. *Bioresource Technology*, 112, 98–104.
11. MOHEDANO, R. A.; COSTA, R. H. R, HOFMANN S. M. BELLI FILHO, P. 2014. Using Full-Scale Duckweed Ponds as the Finish Stage for Swine Waste Treatment with a Focus on Organic Matter Degradation. *Water Science and Technology* 69 (10): 2147-2154.
12. PRIYA, A., AVISHEK, K., PATHAK, G. 2012 Assessing the potentials of *Lemna minor* in the treatment of domestic wastewater at pilot scale. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184, 4301– 4307.
13. RAN, Noemi; AGAMI, Moshe; ORON, Gideon. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research, Kiryat*, v. 38, n. 9, p.2241-2248, 13 abr. 2004.
14. SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 14675, de 13 de abril de 2009. Código Estadual do Meio Ambiente. Florianópolis.
15. SIMS, Atreyee; GAJARAJ, Shashikanth; HU, Zhiqiang. Nutrient removal and greenhouse gas emissions in duckweed treatment ponds. *Water Research, Columbia*, v. 47, n. 3, p.1390-1398, 01 mar. 2013.
16. VERMA, Rashmi; SUTHAR, Surindra. Synchronized urban wastewater treatment and biomass production using duckweed *Lemna gibba* L. *Ecological Engineering, Dehradun*, v. 64, p.337-343, 29 jan. 2014.
17. XU, J.; SHEN, G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology, Raleigh*, v.102, n.2, p.848–853, 2011.
18. ZHAO, Yonggui et al. Microbial community and removal of nitrogen via the addition of a carrier in a pilot-scale duckweed-based wastewater treatment system. *Bioresource Technology*, v. 179, p.549-558, mar. 2015.