

**Determinação do potencial de biorremediação de nutrientes e bioindicação de águas residuárias da suinocultura por macrófitas flutuantes (*Lemna minuta*) – Efeito de altas taxas de nitrogênio amoniacal**

CARIS, Marlen Erika;\* ANDRADE, André S. P. de;\*\* PHILIPPI, Luiz Sérgio\*\*\*

## Resumo

Este trabalho objetivou contribuir com a sustentabilidade da suinocultura no Estado de Santa Catarina, Brasil, propondo a utilização da *Lemna minuta* como biorremediadora e bioindicadora de efluentes. Testou-se a eficiência da *Lemna minuta* em concentrações diferentes de nitrogênio amoniacal. O experimento foi realizado em cinco tanques de 5 litros cada, alimentados com 2 litros de efluentes do processo de tratamento nas concentrações: 100% de efluente (Lemna 1); 75% de efluente (Lemna 2); 50% de efluente (Lemna 3); 25% de efluente (Lemna 4) e o último com 100% de água destilada (Lemna 5), todos seguidos da adição da macrófita. Os resultados mostraram que as macrófitas nos tanques Lemna 3 e 4 apresentaram maior crescimento e formação de biomassa, além da melhor remoção de nutrientes do meio líquido. O melhor desempenho na remoção de nitrogênio amoniacal ocorreu quando as concentrações iniciais foram de 20 a 50 mg.L, a maior remoção foi de 60% (Lemna 3). Para o ortofosfato, a maior remoção foi 51% (Lemna 4). O aumento do nitrogênio oxidável indicou o processo de nitrificação e nitratação. A *Lemna minuta* demonstrou potencial para uso tanto na biorremediação de águas impactadas pela suinocultura quanto na bioindicação de poluição dessa natureza.

Palavras-chave: *Lemna minuta*. Efluente da suinocultura. Biorremediação. Bioindicação. Nitrogênio amoniacal.

***Determination of the potential for bioremediation and nutrient bioindicator of swine wastewater by floating macrophytes (*Lemna minuta*) - Effect of high rates of ammoniacal nitrogen***

## Abstract

*This study aimed to contribute to the sustainability of pig farming in the state of Santa Catarina, Brazil by proposing to use Lemna minuta as a bioremedy and bioindicator of wastewater. The efficiency of Lemna minuta was tested in different concentrations of ammonia nitrogen. The experiment was executed in five tanks with 5 liters each, that were feed with 2 liters of wastewater from the treatment processes in different concentrations: 100% of wastewater (Lemna 1); 75% of wastewater (Lemna 2); 50% of wastewater (Lemna 3); 25% of wastewater (Lemna 4) and the last received 100% of distilled water (Lemna 5), added floating macrophytes.. The results show that the macrophytes in the tanks Lemna 3 and 4 had better development, achieving the greatest growth and biomass formation, besides the best removal of nutrients from the liquid environment. The best overall performance was in a range of concentration of ammoniacal nitrogen between 20mg.L e 50 mg.L, the best removal efficiency was of 60% (Lemna 3). To the orthophosphate, the best remotion was 51% (Lemna 4). The increase in oxidized nitrogen indicated the nitrification and nitration process. Lemna minuta shows potential as a bioremediation for water suffering from the impact caused by pig farming, so a bioindication of pollution of this type.*

*Keywords: Lemna minuta. Pig farming wastewater. Bioremedy. Bioindication. Ammoniacal nitrogen.*

\* Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de Estudos de Saneamento Ambiental Descentralizado; marlencaris@uol.com.br

\*\* Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de Estudos de Saneamento Ambiental Descentralizado.

\*\*\* Universidade Federal de Santa Catarina; Grupo de Estudos de Saneamento Ambiental Descentralizado.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o modelo produtivo adotado pela humanidade tem apresentado impactos significativos e catastróficos ao meio ambiente. Dentro desse modelo, enquadra-se a agroindústria que, nas últimas décadas, contribuiu com uma degradação tanto do ar, quanto do solo e, principalmente, da água. O ecossistema aquático é o que dentre todos se apresenta como um dos mais vulneráveis às contaminações e poluições (ESTEVES, 1998).

A suinocultura é uma atividade produtiva de grande importância econômica do Brasil, sendo ele o quarto produtor mundial, com cerca de 39 milhões de animais. O Estado de Santa Catarina apresenta um rebanho da ordem de 8,6 milhões de cabeças, com uma produção desenvolvida em pequenas propriedades, seguida das médias e grandes (SAAB; CLÁUDIO, 2010). A evolução da suinocultura industrial na região Sul (PR, RS e SC) em exportações da carne suína no ano de 2009 atingiu números recordes com, aproximadamente, 1,8 milhão de toneladas de carne produzida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA, 2010; EMBRAPA, 2010). Nesse sentido, Santa Catarina pode ser considerada o maior produtor regional da América Latina, o qual contribui com grande produção de dejetos por ano.

As entidades de classe que representam o setor produtivo reportam o desenvolvimento das atividades suinícolas no Estado, entretanto, no que se refere aos *outputs* e que tenham um significativo impacto ambiental pouco se divulga; estas externalidades são praticamente mantidas em separado e tratadas com reservas. É importante ressaltar que tais externalidades têm grande peso quando os órgãos fiscalizadores que licenciam as exportações procuram as informações quanto à rastreabilidade do produto, no resgate da confiança do consumidor e na reconquista de mercados paralisados (MISSAGLIA, 2007).

De todas as instalações suinícolas, não mais do que 15% das propriedades têm algum tipo de manejo de dejetos, mesmo que ineficiente. Os dejetos que não são manejados e tratados adequadamente, de acordo com a Legislação Ambiental em vigor, colocam em risco a sustentabilidade, a expansão da suinocultura e a atividade econômica. Na maioria das instalações de produção de suínos os dejetos são estocados em esterqueiras ou em lagoas de armazenagem sem revestimento ou impermeabilização, contaminando o solo e os corpos hídricos. Nessas esterqueiras ocorre o início do processo de degradação biológica (fase anaeróbica), ocasionando intensa liberação de gases e odores para a atmosfera. Alguns desses odores causam mal-estar na população, comprometendo a qualidade de vida da região. Após um período (60 a 120 dias, dependendo da estação do ano), os dejetos são retirados das esterqueiras e dispostos no solo como fertilizantes. Essa carga lançada no solo muitas vezes é aleatória, podendo ultrapassar a capacidade de suporte desse solo. Outra fração de dejetos pós-esterqueira é lançada nos rios e lagos trazendo, assim, desequilíbrios para esses ecossistemas. Para minimizar os impactos, várias tecnologias para tratamento de dejetos suínos têm sido estudadas e testadas em projetos-piloto (BELLI FILHO et al., 2001). Na atividade suinícola, o conhecimento da

composição físico-química e microbiológica dos dejetos é um aspecto importante quando se propõe a realização de estudos de tratamento. As elevadas concentrações de nitrogênio, fósforo, sólidos, além de outros, fazem com que os dejetos possuam alto potencial poluidor (ZANOTELLI, 2002).

Esses dejetos quando lançados nos corpos hídricos favorecem a eutrofização, que consiste em uma diminuição da concentração de oxigênio presente na água e, em uma rápida e intensa proliferação de microrganismos estimulados pelo aumento dos nutrientes. Estudos detalhados apresentados por Wetzel (1993) mostram que não existe outro elemento mais pesquisado do que o fósforo e, quando comparado com a abundância natural de outros elementos nutricionais, estruturalmente importantes à biota, o fósforo é o menos abundante de todos, apresentando-se como o limitante da produtividade biológica. O fósforo é normalmente encontrado na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Segundo Von Sperling (1996), os ortofosfatos ( $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$  e  $H_3PO_4$ ) se encontram livres e diretamente disponíveis para a incorporação no metabolismo, sem necessidade de sofrer conversões para formas mais simples. O nitrogênio, juntamente com o carbono, o hidrogênio e o fósforo, é um constituinte fundamental do protoplasma e um dos principais nutrientes que influenciam a produtividade nos corpos hídricos (WETZEL, 1993). O nitrogênio alterna-se entre várias formas e estados de oxidação em seu ciclo na biosfera, apresentando-se na água sob as seguintes formas: nitrogênio molecular ( $N_2$ ); nitrogênio amoniacal ( $NH_3$ ); nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) (VON SPERLING, 1996).

A utilização de plantas aquáticas no tratamento de águas residuárias e, conseqüentemente, a remoção de nutrientes tem recebido atenção especial em razão da grande capacidade assimiladora de algumas substâncias poluidoras e o polimento destas (KAWAI; GRIECO, 1983; FORINI et al., 2001; KORNER et al., 2001; ZIMMO et al., 2002; MOHEDANO, 2004).

Com maior e mais intenso envolvimento do Ministério Público nas questões ambientais, exigindo as adequações à lei por intermédio do Termo de Ajuste de Conduta (TAC), uma problemática recente começa a se delinear. Muitas esterqueiras e lagoas de armazenamento foram abandonadas, principalmente aquelas que não se enquadram dentro dos limites mínimos propostos pela legislação. Com o passar do tempo, os processos biológicos de biorremediação se encarregam de utilizar os nutrientes disponíveis para a produção de biomassa e, conseqüentemente, energia para os sistemas vivos. A atividade de biorremediação dos ambientes degradados é um processo lento e ainda não totalmente conhecido, mas ele se instala e se processa. Utilizando-se dessa atividade natural, os pequenos agricultores têm reutilizado essas águas para diversos fins: captação de água da chuva, produção de peixes, lavagem de instalações, irrigação na época da estiagem, entre outras finalidades. Essas atitudes são pontos de preocupação dos agentes de saúde e da vigilância sanitária, pois essas águas necessitam de maior atenção no que diz respeito à sua qualidade para o seu reuso.

Mundialmente diversos estudos estão sendo realizados empregando-se plantas aquáticas ou de ambientes úmidos na construção de sistemas de polimento ou remoção de nutrientes. As macrófitas aquáticas são plantas vasculares aquáticas “[...] cujas partes fotossinteticamente ativas

estão permanentemente ou por alguns meses em cada ano, submersas em água ou flutuantes em sua superfície.” (JOLY, 1997). De acordo com Wetzel (1993), as macrófitas flutuantes, apresentam “uma grande diversidade de morfologia e de hábitos”, podendo se desenvolver tão rápida e intensamente em alguns corpos d’água que inviabilizam o emprego comercial desses sistemas hídricos. Por outro lado, as plantas flutuantes respondem de maneira mais eficaz na remoção de nutrientes quando comparadas às fixas, pois estas atuam no sedimento enquanto que as flutuantes retiram os nutrientes diretamente do corpo d’água (SHIMODA, 1984).

Entre as macrófitas flutuantes mais estudadas para aproveitamento no polimento de águas residuárias podem ser destacadas as seguintes plantas: *Azolla sp* “samambaia d’água” (FORINI et al., 2001) e as espécies do gênero *Lemna spp.* conhecida como “Lentilha d’água ou duckweed” (AGENDIA et al., 1998; ROMERO et al., 2001, KORNER et al., 2001; ZIMMO et al., 2002). Mohedano (2004) em seu estudo reporta os experimentos de Korner et al. (1998) os quais demonstram a eficiência da *Lemna gibba* na remoção de nutrientes em esgoto doméstico, tendo como resultado uma redução de 73 a 97% de nitrogênio Kjeldahl e de 63 a 99% de fósforo total, dependendo da concentração inicial. Já Awuah (2001) utilizou *Lemna paucicostata* obtendo resultados satisfatórios na redução da DBO (de 130 mg.L<sup>-1</sup> para 5mg.L<sup>-1</sup>) e de coliformes fecais (de 1,18x10<sup>5</sup> UFC/mL para 100UFC/mL). Para os demais inconvenientes de águas residuárias, como a presença de odores e a proliferação de mosquitos e borrachudos, as lemnáceas apresentam um efeito positivo, pois em estudos realizados por Angerilli e Beirne (1980) demonstraram que a densa cobertura da superfície produzida por essas macrófitas proporciona uma barreira física e química, impedindo que as larvas se desenvolvam e atinjam a fase aérea. Essa mesma barreira física evita que os odores produzidos durante a degradação anaeróbica atinjam a atmosfera, ficando retidos na zona de raízes dessas plantas, facilitando a oxidação do ácido sulfídrico, que corresponde a uma das principais substâncias causadoras de mau odor (IQBAL, 1999).

Para o sucesso do tratamento de efluentes com lemnáceas é necessário ressaltar que um rigoroso manejo é importante para promover seu melhor desenvolvimento e produção e também para conhecer as suas inferências no meio mediante um monitoramento (JOURNEY; SKILLICORN; SPIRA, 1993). Nesse sentido, a pesquisa busca identificar o potencial de remoção de nutrientes por macrófitas flutuantes (biorremediação) e a utilização da *Lemna minuta* como bioindicadora de efluentes de alta concentração amoniacal de efluentes suinícolas.

## 2 METODOLOGIA

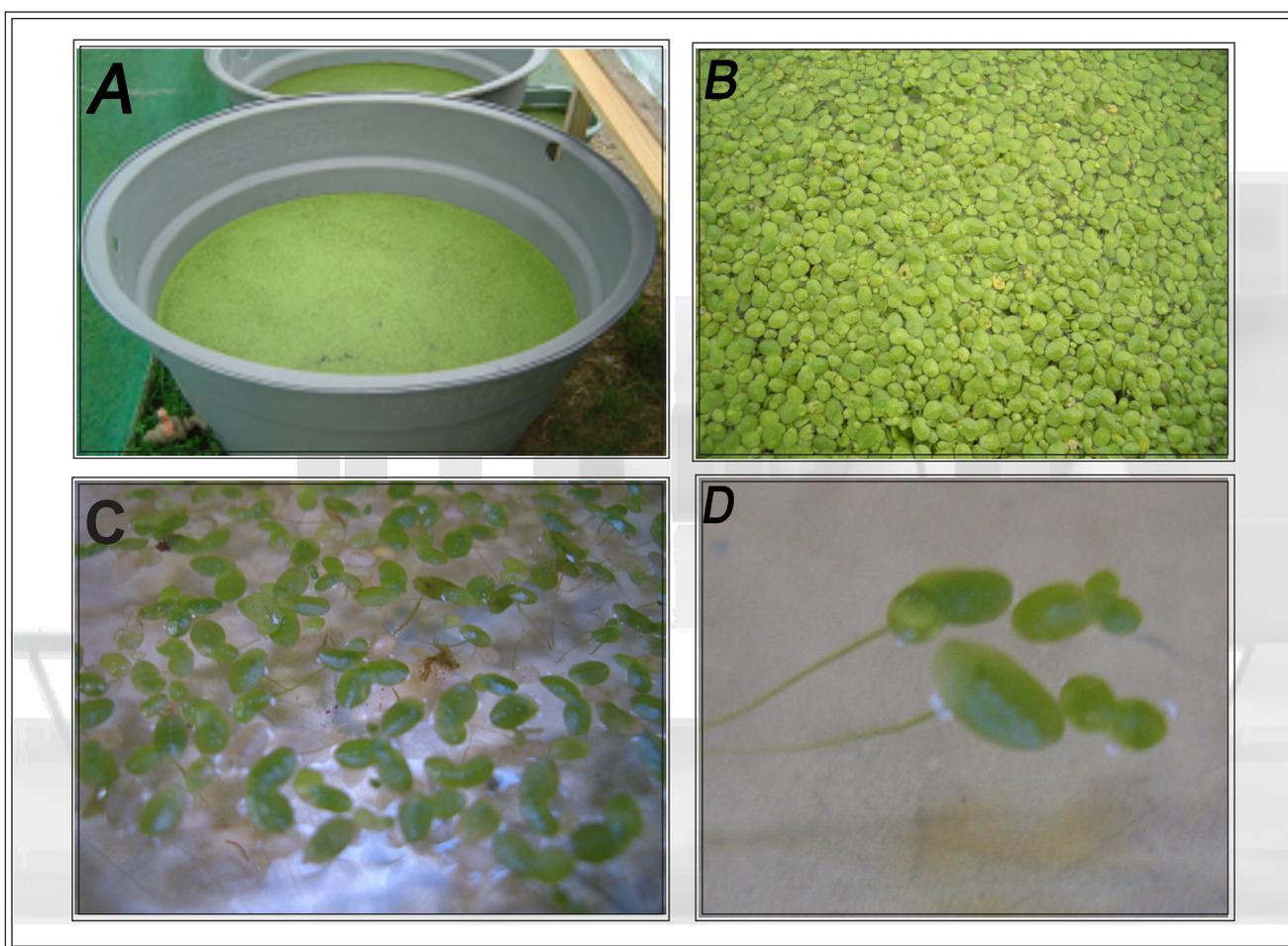
O experimento realizado foi dividido em duas séries: uma de bancada e outra efetuada a campo.

A primeira constou da elaboração do quadro colorimétrico para ser utilizado como ferramenta de observação da condição fisiológica da macrófita e sua relação com as concentrações iniciais de

nitrogênio amoniacal. A segunda efetuada em uma casa de vegetação no campo experimental da UFSC em Florianópolis. A descrição das metodologias empregadas para sua realização foi dividida em itens.

## 2.1 LOCAL EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado em uma casa de vegetação, para permitir a manutenção da temperatura na faixa adequada ao desenvolvimento das macrófitas (18 °C a 25 °C), evitando as alterações pela precipitação. As plantas foram acondicionadas em tanques de crescimento (Fotografia 1-A).



Fotografia 1: Imagens ilustrativas de *Lemna minuta*

Legenda: A – Tanque de crescimento estoque;

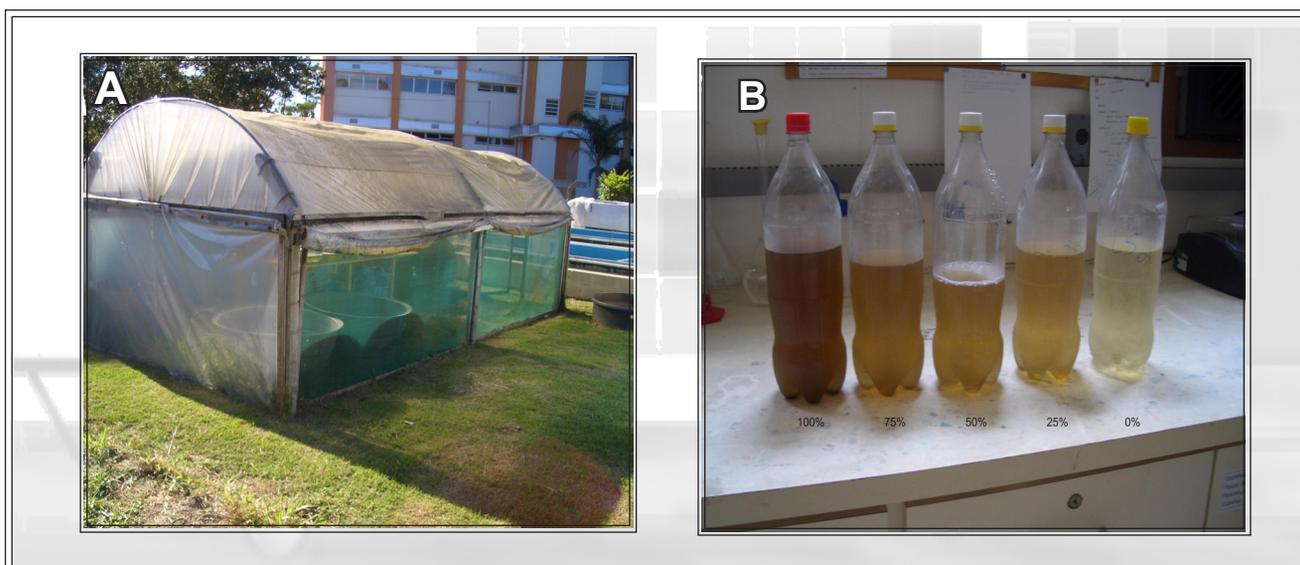
B – Superfície das caixas experime

C – Vista em tamanho natural (até 0,5 cm);

D – Observação ao microscópio estereoscópico das raízes e frondes com uma ampliação de 2,5 vezes o tamanho natural.

Para manter a temperatura dos efluentes entre 18 °C e 25 °C, a estufa foi coberta por um sombrite (50%), com ventilação diurna lateral (Fotografia 2-A).

O experimento foi montado utilizando-se cinco tanques com capacidade máxima de 5 litros. O efluente utilizado foi coletado em uma granja de suinocultura localizada na cidade de Videira, Santa Catarina. O sistema de tratamento da granja constou de dois decantadores com peneiras seguidos por duas lagoas anaeróbias em série, uma lagoa facultativa, uma lagoa de maturação e um filtro de pedra e areia para remoção de algas fitoflageladas. Após todas essas etapas o efluente passa por uma caixa de passagem e segue para seu destino final. O efluente utilizado no experimento foi coletado na caixa de passagem, apresentando concentrações de nitrogênio total na faixa de  $95,0 \pm 15,3 \text{ mg.L}^{-1}(\text{N})$  e de ortofosfato na faixa de  $14,0 \pm 3,0 \text{ mg.L}^{-1}(\text{P-PO}_4)$ .



Fotografia 2: Fotografias da instalação do experimento

Legenda: A – Estufa onde foram instalados os ensaios.

B – Aspecto inicial do efluente e as diferentes diluições

## 2.2 MACRÓFITAS UTILIZADAS

As macrófitas utilizadas foram coletadas em uma esterqueira em desuso na cidade de Orleans (SC) e preparadas para herborização. As técnicas de coleta, fixação seguem a metodologia de coleta e preparação de material biológico (LANDOLT, 1986). As exsicatas foram remetidas para especialistas, com fins de confirmação do gênero/espécie (Herbário do CGMS –MS da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul). As macrófitas coletadas nessa esterqueira em desuso receberam o número de catalogação. Todas as plantas utilizadas neste trabalho foram coletadas no ambiente e mantidas em água potável sem cloração por 48 horas e à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Cada tanque recebeu concentração diferente do efluente (Fotografia 2-B): o primeiro com 100% de efluente (2 litros), denominado (Lemna 1), o segundo 75% de efluente (Lemna 2), o terceiro 50% de efluente, o quarto 25% de efluente (Lemna 4) e o ultimo com 100% de água destilada (Lemna 5). A concentração inicial da amônia foi determinada, conforme verificado na Tabela 1.

Tabela 1: Diluições do efluente e a concentração inicial de amônia nos tanques

Tanques	Preparação do efluente	(%)	Amônia inicial (mg.L <sup>-1</sup> )
Lemna 1	2 L de efluente	100	84,28
Lemna 2	1750 mL efluente + 250 mL H <sub>2</sub> O dest.	75	63,315
Lemna 3	1000 mL efluente + 1.000 mL H <sub>2</sub> O dest.	50	42,14
Lemna 4	250 mL efluente + 1.750 mL H <sub>2</sub> O dest.	25	21,07
Lemna 5	2000 mL H <sub>2</sub> O dest.	-	-

As diluições foram realizadas para testar e comparar os padrões de desenvolvimento das macrófitas em diferentes concentrações de amônia (NH<sub>3</sub>) e, com isso, estabelecer a sua melhor faixa de concentração que permite a melhor eficiência na remoção por parte das macrófitas, bem como seu melhor ou pior crescimento.

Cada tanque recebeu igual quantidade de macrófitas em peso, suficiente para cobrir toda a superfície do líquido (Fotografia 1-B). Foram pesadas 48 gramas em peso úmido (PU) de *Lemna minuta*, seguindo as especificações dos estudos de Caicedo (2005), as quais preconizam uma proporção ideal de 700 g de macrófitas por m<sup>2</sup> cobrindo, assim, totalmente a superfície do líquido e evitando a penetração de luz e conseqüente proliferação de algas nos tanques.

Esse experimento ocorreu durante um período de sete dias (tempo de detenção do sistema) com três repetições.

## 2.4 MONTAGEM DO QUADRO COLORIMÉTRICO

A macrófita utilizada neste experimento foi identificada como a espécie *Lemna minuta* Kunth com o seguinte número de catalogação CGMS n. 25.171. A ocupação de toda a área superficial no ambiente de origem foi de uma única espécie dominante.

As macrófitas flutuantes que vivem em ambientes naturais morrem ou alteram a sua coloração quando submetidas a mudanças bruscas em seu hábitat natural. Nos reservatórios naturais essas reações foram observadas quando ocorriam mudanças nas concentrações de nutrientes, principalmente do

nitrogênio amoniacal. Procurou-se então acompanhar a mudança de coloração das frondes no processo de falência dos tecidos e morte da planta. Esse quadro de coloração (Quadro 1) é o resultado de um ensaio de tolerância com diversas concentrações de nitrogênio amoniacal, obtido por diluições; foi elaborado acompanhando diariamente as alterações durante sete dias, a uma temperatura constante em uma câmara incubadora a  $25,0 \pm 0,2$  °C, com mudanças nas concentrações de nitrogênio amoniacal (Quadro 1) e com um fotoperíodo de 12 horas a uma intensidade de 2200 lux. Para elaboração desse quadro foram realizadas cinco repetições, em triplicata para o ajuste das cores.

Os resultados das cinco repetições foram resumidos em faixas colorimétricas associadas às concentrações de nitrogênio amoniacal. A coloração das frondes foi comparada com a palheta de cores RGB por números, conforme descrição no Quadro 1.

Palheta cores RGB	53r111g1b	102r153g0b	153r204g0b	213r255g1b	235r233g141b	253r255g239b	225r225g204b
Cores	1	2	3	4	5	6	7
Estado das plantas	Lemnas saudáveis	Lemnas com condições de crescimento	Lemnas afetadas com condições de recuperação	Lemnas afetadas em condições precárias de recuperação	Lemnas afetadas sem condições de recuperação	Lemnas mortas	Lemnas mortas com descoloração do tecido
Faixa de N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	0,1 a 30,0	30,1 a 50,0	50,1 a 80,0	80,1 a 100,0	Acima de 100		

Quadro 1: Quadro colorimétrico das frondes que demonstra a condição fisiológica da *Lemna minuta* quando submetida a situações de diferentes concentrações de N amoniacal (faixa de concentração).

Nota: A numeração corresponde ao número das cores e sua respectiva legenda.

A utilização deste quadro facilitou a observação do desenvolvimento das macrófitas no experimento de bancada realizado para identificar o seu estado fisiológico em diferentes concentrações de nitrogênio amoniacal e assim a sua utilização como bioindicadora de efluentes suinícolas que apresentam diferentes concentrações de amônia em campo.

## 2.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises dos parâmetros foram realizadas no início e no final de sete dias. Os experimentos tiveram três repetições, por um período de dois meses. As análises foram realizadas no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) com o Grupo de Estudos de Saneamento Ambiental Descentralizado (GESAD) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). As coletas, transporte e análises das amostras seguiram

recomendações do *Standard Methods of Examination for the Water and Wastewater* 21 ed. (APHA-AWWA-WEF, 2005); os parâmetros analisados foram: Temperatura da água (°C) com termômetro de coluna de mercúrio e confirmação com aparelho digital (sension™ Hach®); Potencial hidrogeniônico (pH) determinado por potenciometria – (aparelho digital sension™ Hach®) e espectrofotometria para Fósforo reativo - PO<sub>4</sub>-P (mg.L<sup>-1</sup> em PO<sub>4</sub>); Nitrogênio amoniacal - NH<sub>3</sub> -N (mg.L<sup>-1</sup> em N); Nitrito - NO<sub>2</sub>-N (mg.L<sup>-1</sup>) e nitrato NO<sub>3</sub>-N (mg.L<sup>-1</sup>) medidos em espectrofotômetro DR/2500 Hach®. Também foram analisados os parâmetros para comparar a produção de biomassa nos tanques, por meio da diferença do peso úmido, peso seco e cinzas das macrófitas.

Os parâmetros analisados formam a base do acompanhamento da qualidade do efluente. As análises foram realizadas em triplicata e os dados quantitativos reunidos em médias com os seus devidos desvios-padrão e a diferença entre elas. Os dados foram reunidos em uma planilha eletrônica Excel® 2003 e apresentados em gráficos e tabelas.

O cálculo da eficiência de remoção / incremento dos nutrientes seguiu a Eq.1

$$\text{Eficiência de remoção(\%)} = [(C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}) / C_{\text{final}}] 100 \dots\dots\dots\text{Eq.1}$$

O sinal positivo (+) indica incremento assim como a seta utilizada (↑), o sinal (-) indica a redução ou remoção assim como a seta (↓) indica a diminuição.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram uma redução de N-NH<sub>3</sub> durante o período experimental para as diferentes concentrações nos tanques Lemna 1 a 4. Este fato não se observou no tanque Lemna 5 (100% água destilada), que apresentou um acréscimo (2,8 ± 0,01 mg.L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>), o mesmo ocorrendo com o ortofosfato, proveniente da matéria viva introduzida no tanque (Tabela 2).

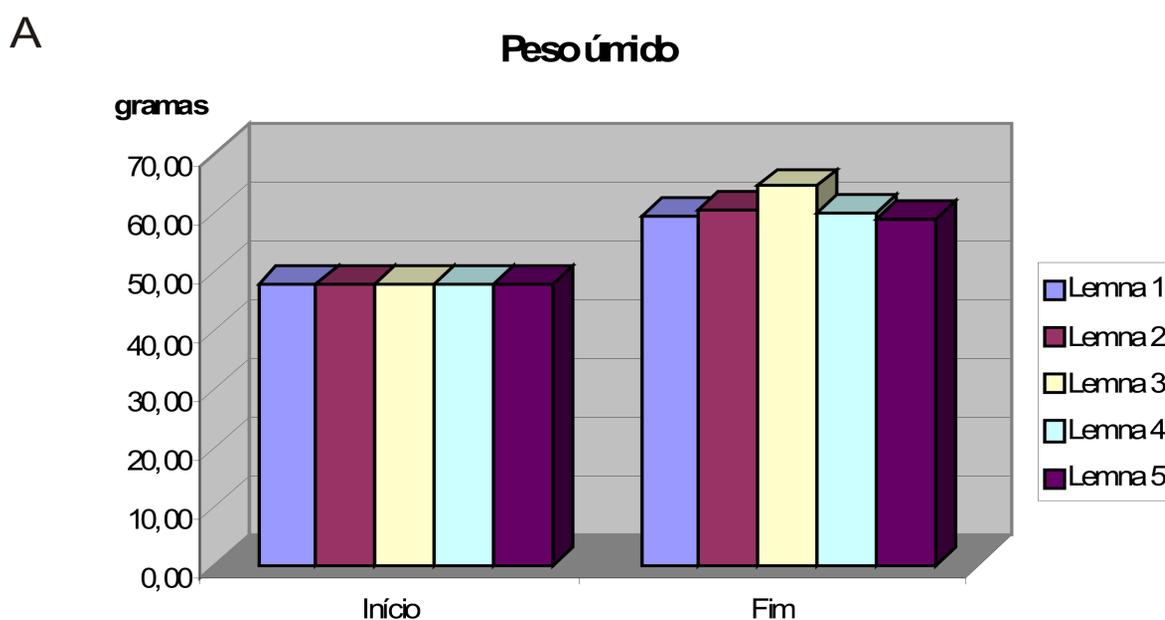
Tabela 2: Resultados dos parâmetros analisados e seus respectivos desvios-padrão. A eficiência corresponde à remoção do nitrogênio amoniacal e ortofosfato e o incremento corresponde ao aumento

Parâmetros ↓	Concentração →		Lemna 1		Lemna 2		Lemna 3		Lemna 4		Lemna 5	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio	média	desvio
pH	Início	0,00	8,34	0,00	8,34	0,00	8,34	0,00	8,34	0,00	8,34	0,00
	Fim	0,01	7,98	0,00	0,00	7,89	0,01	7,44	0,01	6,76	0,00	0,00
N amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	Início	84,8	63,32	42,14	21,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fim	56,01	33,63	16,78	11,21	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
	Δ	(-)28,27	0,01	0,04	0,03	0,01	0,01	(-)9,87	0,01	(-)2,8	0,01	0,01
	Remoção %	↓34	↓47	↓60	↓47	↓33	↓200	↓1280	↓1280	↓1280	↓1280	↓1280
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Início	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fim	0,70	0,46	0,38	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Δ	(+)0,46	0,01	(+)0,26	0,01	0,01	0,01	(+)0,02	0,05	(+)0,02	0,00	0,00
	Incremento %	↑191	↑155	↑216	↑33	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Início	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	Fim	0,09	0,16	0,12	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	Δ	(+)0,07	0,01	(+)0,11	0,01	0,01	0,01	(+)0,02	0,00	(+)0,02	0,00	0,00
	Incremento %	↑350	↑700	↑1100	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200	↑200
N oxidável (mg.L <sup>-1</sup> )	Início	0,26	0,20	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fim	0,79	0,62	0,50	0,11	0,00	0,00	0,11	0,00	0,04	0,00	0,00
	Δ	(+)0,53	0,01	(+)0,37	0,01	0,01	0,01	(+)0,04	0,05	(+)0,04	0,00	0,00
	Incremento %	↑204	↑210	↑285	↑57	↑14	↑14	↑14	↑14	↑14	↑14	↑14
Ortofosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	Início	13,79	10,34	6,90	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fim	12,67	08,02	4,54	1,69	0,01	0,00	0,01	0,00	0,50	0,00	0,00
	Δ	(-)1,12	0,11	(-)2,36	0,13	0,13	0,06	(-)1,76	0,06	(+)0,5	0,00	0,00
	Remoção %	↓8	↓22	↓34	↓51	↓34	↓51	↓51	↓51	↓4900	↓4900	↓4900
PUmido (g)	Início	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	48,02	0,01
	Fim	59,23	60,39	64,35	59,88	0,01	0,01	59,88	0,01	58,97	0,01	0,01
	Δ	(+)11,21	0,00	(+)16,33	0,00	0,00	0,00	(+)11,86	0,00	(+)10,95	0,00	0,00
	Incremento %	↑23	↑26	↑34	↑25	↑34	↑25	↑25	↑25	↑23	↑23	↑23
PSeco (g)	Início	3,51	3,51	3,51	3,51	0,00	0,00	3,51	0,00	3,51	0,00	0,00
	Fim	5,68	4,99	8,84	5,97	0,00	0,00	5,97	0,00	4,87	0,00	0,00
	Δ	(+)2,17	0,00	(+)5,33	0,00	0,00	0,00	(+)2,46	0,00	(+)1,36	0,01	0,01
	Incremento %	↑62	↑42	↑151	↑70	↑151	↑70	↑70	↑70	↑39	↑39	↑39
PCinzas (g)	Início	0,48	0,48	0,48	0,48	0,01	0,01	0,48	0,01	0,48	0,01	0,01
	Fim	0,46	0,34	0,60	0,30	0,01	0,01	0,30	0,01	0,57	0,01	0,01
	Δ	(-)0,02	0,00	(+)0,12	0,00	0,00	0,00	(-)0,18	0,00	(+)0,09	0,00	0,00
	Incremento %	↓4	↓29	↑25	↓37	↑25	↓37	↓37	↓37	↑18	↑18	↑18

Em relação ao nitrogênio amoniacal, o resultado mais significativo de todas as diluições ocorreu no tanque Lemna 3 com 50% de efluente e 50% de água destilada e amônia inicial de 42,14 mg.L<sup>-1</sup>. A eficiência de remoção da amônia para essas diluições foi de aproximadamente 60%. A faixa mais eficiente de remoção para o período se encontra entre a faixa Lemna 2 e Lemna 4. Houve um aumento Nox. em todas as faixas de concentração estudadas; o valor mais alto está na faixa de Lemna 3 com um incremento de 285%. Embora Korner et al. (2001) afirmem que NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é a forma de nitrogênio mais facilmente absorvida pela *Lemna sp.*, deve-se ressaltar que além da absorção direta da amônia pela planta, também ocorre a volatilização e a nitrificação, processo que consiste na transformação da amônia em nitrito e depois em nitrato pela ação da flora bacteriana específica (BRANCO, 1978). É importante lembrar que as raízes e frondes dessas plantas proporcionam uma área para a fixação, facilitando o desenvolvimento dessas comunidades microbióticas. A nitrificação e a nitratação é a provável razão para o aumento da concentração de nitrito e nitrato observado em todos os tanques do experimento.

Para o ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>), comparando-se todas as diluições, o melhor resultado foi uma eficiência de 51% no tanque Lemna 4 (Tabela 2). A remoção de fósforo e nitrogênio é o principal destaque em experimentos com macrófitas aquáticas, realizados por diversos autores: uma remoção de 94% para N<sub>total</sub> e 77% para o fósforo total por Alaerts, Mahbubar e Kelderman (1996); Korner, Lyatuu e Vermaat (1998), obtiveram um percentual de 73 a 97% para N<sub>total</sub> e 63 a 98% para o fósforo total, já Zimmo et al. (2002) obtiveram remoção de 54% para N<sub>total</sub> e de 61 a 74% de fósforo total.

A biomassa para o período de sete dias sofreu um aumento (Gráfico 1); todos os pesos úmidos e secos das lemnas sofreram um aumento ao longo dos sete dias do experimento. O tanque Lemna 3 (concentração inicial de amônia de 42,14 mg.L<sup>-1</sup>) apresenta a melhor eficiência de crescimento em todos os pesos (26% de peso úmido, 61% peso seco e 21% de peso das cinzas).



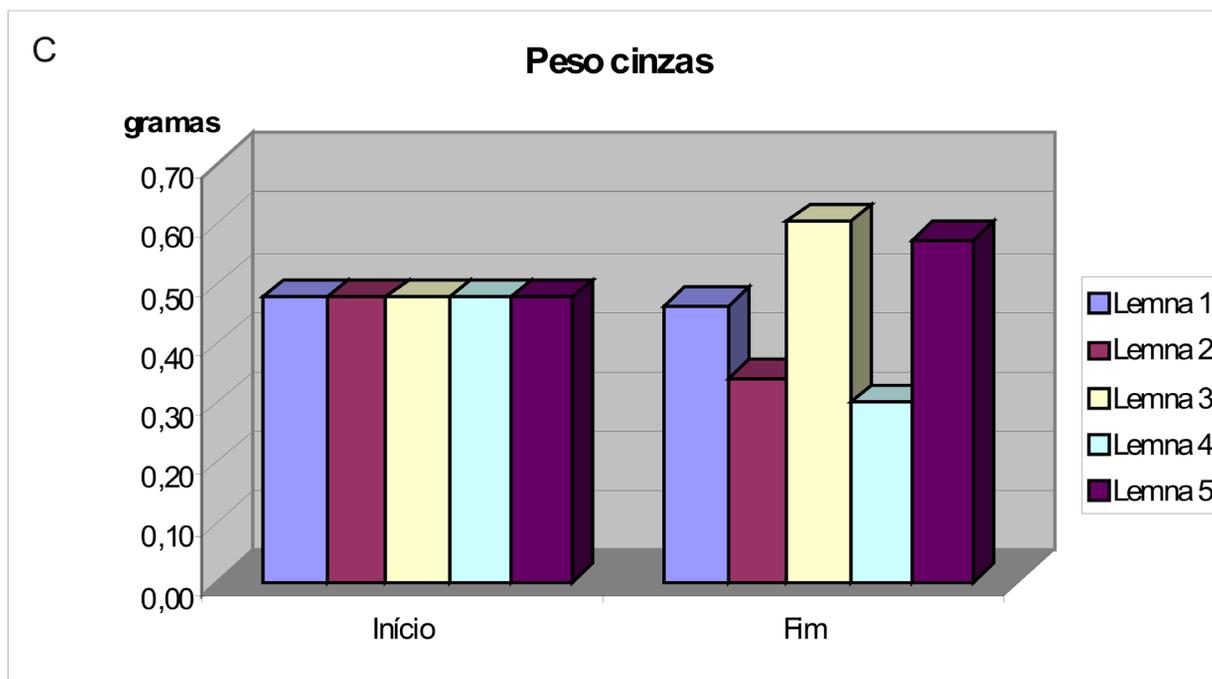
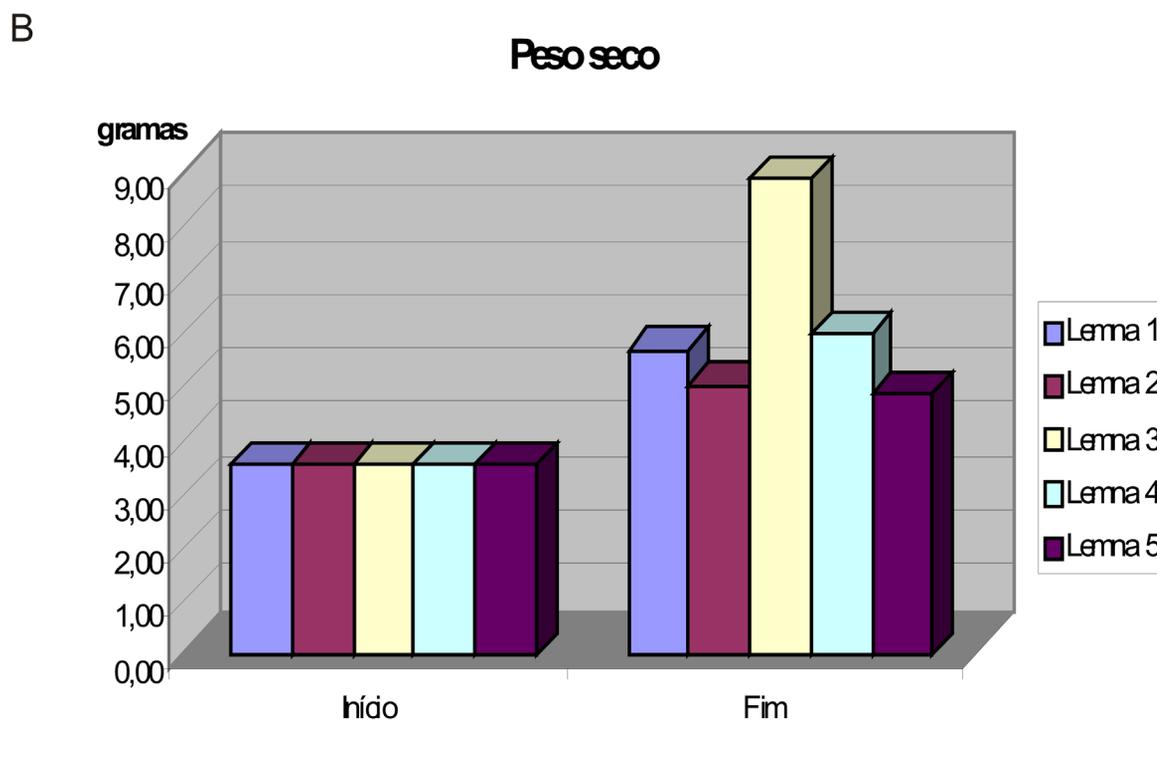


Gráfico 1: Biomassa expressa em g (gramas) do PU (peso úmido) (a), PS (peso seco) (b) e PC (peso cinzas) (c).

Durante o período do experimento, foram comparados e registrados diariamente as cores e os números convencionados no quadro colorimétrico (Quadro 1) do estado das plantas de cada tanque.

O Quadro 2 é a reunião de todas as observações dos três experimentos realizados.

[N-NH <sub>3</sub> ] Inicial (mg.L <sup>-1</sup> )	Hora 0	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	[N-NH <sub>3</sub> ] Final (mg.L <sup>-1</sup> )
84,28±0,4	1	2	3	4	4	3	3	2	56,01± 0,1
63,32±0,15	1	2	2	2	2	2	1	1	33,63±0,04
42,14±0,2	1	1	1	2	2	1	1	1	16,78±0,03
21,07±0,1	1	1	1	2	1	1	1	1	11,21±0,01
0,00	1	2	3	3	2	1	1	1	2,8±0,01

Quadro 2: Resultado das observações do estado fisiológico da *Lemna minuta* com gabarito colorimétrico e concentrações iniciais e finais de nitrogênio amoniacal

O resultado dessa observação mostrou que as plantas em todos os tanques de diferentes concentrações de nitrogênio amoniacal sofreram após algum tempo uma variação na sua coloração. No intervalo de concentração inicial de 20,0 a 43,0 mg.L<sup>-1</sup> de nitrogênio amoniacal, as macrófitas mostraram uma variação na coloração, entretanto reagiram em um curto espaço de tempo, retomando o seu crescimento. No Quadro 2 pode-se notar também que as plantas que se encontram na concentração extrema (acima de 80,0 mg.L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>) apresentaram uma dificuldade maior para retomar o crescimento, chegando à coloração de nível 4 que corresponde a Lemnas afetadas em condições precárias de recuperação. A recuperação somente ocorreu após o quinto dia quando os níveis do nitrogênio amoniacal já estavam em declínio tendo uma concentração final em torno de 56,01 ± 0,1 mg.L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>. A temperatura ambiente variou de 18,3 (noite) a 26,5 °C (dia) durante o período experimental.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação da macrófita aquática *Lemna minuta*, no tratamento de águas residuárias da suinocultura, demonstrou ser uma alternativa para a remoção de amônia e ortofosfato. O tempo de retenção de sete dias propiciou uma remoção com uma eficiência de aproximadamente 60% para o nitrogênio amoniacal, de 35% para o ortofosfato no tanque Lemna 3, de 47% para o nitrogênio amoniacal e 51% para o ortofosfato no tanque Lemna 4. O aumento do nitrogênio oxidável indicou o processo de nitrificação da amônia e uma nitratação. O aumento das taxas de nitrito e nitrato ocorre em virtude da instalação durante o período de uma microbiota ativa capaz de atuar sobre esses nutrientes.

A biomassa produzida apresentou resultados mais promissores na faixa de concentração inicial de 20 a 60 mg.L<sup>-1</sup> de amônia para plantas utilizadas.

Com isso entende-se que as macrófitas têm um potencial de biorremediação de nutrientes em águas impactadas por efluentes da suinocultura. O cultivo da *Lemna minuta* gera uma biomassa que poderá ser utilizada como complemento em dietas para peixes e outros animais.

A elaboração do quadro de cores associada às concentrações de nitrogênio amoniacal mostraram que é possível se utilizar da *Lemna minuta* como bioindicadora para diferentes concentrações de nitrogênio amoniacal em águas residuárias da suinocultura, e uma forma de propiciar uma ferramenta de fácil utilização e de resposta rápida nos trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

- AGENDIA, P. et al. The appearance of two duckweed species in sewage effluents in Yaounde (Cameroon), and their possible use for sewage treatment and feed production. **Bulletin of the Geobotanical Institute- ETH**, v. 64, p. 63-68, 1998.
- ALAERTS, G.J.; MAHBUBAR, M. D. R.; KELDERMAN, P. Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. **Water Research**, v. 30, n. 4, p. 843-852, 1996.
- ANGERILLI, N. P. D.; BEIRNE, B. P. Influence of aquatic plants on colonization of artificial ponds by mosquitoes and their insect predators. **Can. Entomol**, v. 112, p. 793-796, 1980.
- APHA-AWWA-WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Relatório anual da produção e exportação de carne suína no Brasil**. 2010. Disponível em: <[http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercadoexterno/exportacoes/12meses/exp\\_12meses\\_jan08\\_dez09.pdf](http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercadoexterno/exportacoes/12meses/exp_12meses_jan08_dez09.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2010.
- AWUAH, E. Environmental conditions and pathogen removal in macrophyte-and algal-based domestic wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 6, p. 11-18, 2001.
- BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para tratamento de dejetos suínos. In: **R. Brás. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia ambiental**. São Paulo: Ceteb, 1978.

CAICEDO, J. R. Effect of Operational Variables on Nitrogen transformations in Duckweed Stabilization Ponds. 2005. 163 p. Tese. Academic Board of Wageningen University, Delft, Holanda, 2005.

EMBRAPA. **Levantamento Sistemático da Produção e Abate de Suínos – LSPS**. 2010 Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/sgc/FCKeditor/editor/cotacao/LSPS\\_dados\\_estado\\_federacao.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/sgc/FCKeditor/editor/cotacao/LSPS_dados_estado_federacao.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2010.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FORINI, C. et al. Evaluation of the fern *Azolla* for growth nitrogen and phosphorus removal from wastewater. **Water Research**, v. 35, n. 6, p. 1592-1598, 2001.

IQBAL, S. **Duckweed aquaculture – potentials – possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries**. Switzerland: Sandec, 1999.

JOLY, Ayrthon B. **Botânica. Introdução à Taxonomia vegetal**. 4. ed. São Paulo: Nacional, 1997.

JOURNEY, W.K.; SKILLICORN, P. e SPIRA, W. **Duckweed aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries**. World Bank Publication, Washington, D.C. 1993. 67p.

KAWAI, H.; GRIECO, V.M. Utilização do aguapé para o tratamento de esgoto doméstico: estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapés e abordagem de alguns problemas operacionais. Revista **DAE**, v. 44, n.1235, p. 79-80, 1983

KORNER, S. et al. The effect of pH variation at the ammonium/amônia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. **Aquatic Botany**, v. 71, p. 71-78, 2001.

KORNER, 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.



LANDOLT, E. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae) – The family of Lemnaceae – a monographic study. v. 1. **Veröff. geobot. Inst.**, Zürich, v. 71, 1986.

MISSAGLIA, A. Sistema de rastreabilidade. In: MILAN, M. (Org.). **Sistemas de qualidade nas cadeias agroindustriais**. São Paulo, 2007.

MOHEDANO, R. A. Tratamento de efluente e produção de alimento, em cultivos de tilápias (*Oreochromis niloticus*), através da macrófita aquática *Lemna valdiviana* (Lemnaceae). Uma contribuição para a sustentabilidade da aqüicultura. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura. C.C.A. UFSC, 2004, 45p.

ROMERO, T. et al. Desarrollo de *Lemna* sp. em tanques de metamorfosis de la *Rana catesbeiana* en Cuba. **Bolitim del Centro de Investigaciones Biológicas**, Universidad del Zulia. v. 35, n. 2, p. 95-107, 2001.

SAAB, M. S. M; CLÁUDIO, L. D. G. A cadeia produtiva da carne suína no Brasil. Artigo técnico. **Ergormix**. Disponível em: <[http://pt.engormix.com/MA-suinos/administracao/artigos/cadeia-produtiva-carne-suina\\_235.htm](http://pt.engormix.com/MA-suinos/administracao/artigos/cadeia-produtiva-carne-suina_235.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2010.

SHIMODA, M. Macrophytic communities and their significance as indicator of water quality in two ponds in the Saijo Basin, Hiroshima Prefecture, Japan, *Hikobia*, v. 9, n. 1, 1984. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 4 nov. 2003.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**: princípios de tratamento biológico de águas residuárias. [s.l]: DESA; UFMG, 1996.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 1993.

ZANOTELLI, C. T. Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos. 2002. 162f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ZIMMO, O. R. et al. Process performance assessment of algal-based and duckweed-based wastewater treatment systems. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 1 p. 91-110, 2002.

.....  
Agradecimentos

Agradecimentos especiais à pesquisadora V. Pott pela confirmação do gênero e da espécie da planta em estudo. Ao CNPq pela concessão da bolsa PIBIq - 2008 ao estagiário que acompanhou os experimentos.

Recebido em 30 de julho de 2010  
Aceito em 10 de setembro de 2010