

Caracterização de macrófitas e monitoramento de nutrientes em águas residuárias provenientes da suinocultura em duas regiões subtropicais distintas (estado de Santa Catarina, Brasil)

Marlen Erika Caris*
Estela de Oliveira Nunes**
Luiz Sérgio Philippi***

Resumo

O objetivo deste estudo foi um monitoramento de esterqueiras e lagoas com águas residuárias em desuso, localizadas em duas regiões subtropicais de altitudes distintas do estado de Santa Catarina, com crescimento de macrófitas atuando na depuração. A desativação de esterqueiras e lagoas é uma alternativa encontrada pelos produtores, visando adequação à lei por meio dos Termos de Ajuste de Conduta (TAC) e mudando a produção nas propriedades. Essas esterqueiras são transformadas em reservatórios de adubos, água de chuva, dessedentação de animais e irrigação. As macrófitas no processo de depuração instalam-se, iniciando um processo de biorremediação e de produção de biomassa. O monitoramento desses ambientes mostrou um decaimento $P-PO_4$ e de N_{total} nas quatro unidades monitoradas no inverno e um aumento de concentração nos meses de verão. A Esterqueira 2 apresenta um manejo semanal possuindo uma homogeneidade de variação e níveis mais baixos de concentrações de nutrientes. As macrófitas encontradas são da espécie *Lemna minuta* Kunth, e o trabalho apresenta o grau de cobertura/abundância das macrófitas. Concluiu-se que um monitoramento é fundamental para se conhecer o processo de biorremediação, entretanto não tem caráter comparativo entre as unidades.

Palavras-chave: Monitoramento. Ortofosfato. Nitrogênio total. Macrófitas.

* Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (Gesad) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); marlencaris@uol.com.br

** Professora da Área das Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade do Oeste de Santa Catarina *Campus* de Videira; estela@unoes-cvda.edu.br

*** Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (Gesad) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); lsp@ens.ufsc.br

1 INTRODUÇÃO

As mudanças das características ambientais podem ser conhecidas por intermédio de um monitoramento que acompanha – contínua e sistematicamente – o comportamento de fenômenos, procurando identificar, avaliar e comparar. Mediante o acompanhamento, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, verificando as condições presentes, projetando situações futuras. Os resultados assim obtidos permitem compreender e avaliar qualitativa e quantitativamente, de modo preliminar, situações antes desconhecidas (BRASIL, 2000). A caracterização dos parâmetros físicos, químicos e biológicos permite conhecer os componentes em um ecossistema, como também a presença de espécies bioindicadoras e/ou remediadoras e após caracterização inicial permite registrar temporalmente quaisquer modificações nos ecossistema (ESTEVES, 1998; THOMAZ; BINI; PAGIORO, 2004).

As macrófitas flutuantes da família Lemnaceae são pequenas plantas superiores, distribuídas nos continentes, com exceção de regiões áridas ou muito úmidas, tendo preferência por zonas temperadas, subtropicais e tropicais (LANDOLT, 1986), crescendo em superfícies de águas doces, ricas em nutrientes. O gênero possui aproximadamente 10 espécies, com diferenças morfológicas importantes, entretanto todas são aquáticas flutuantes livres, com número de raízes variável por espécie, de propagação vegetativa rápida, utilizadas em experimentos científicos e despoluidoras de águas, como filtro biológico (POTT; POTT, 2000). As Lemnaceae constituem um elo na cadeia trófica, como alimento para pequenos organismos, peixes, aves aquáticas, abrigo de microfauna e também atuam como despoluidoras em ecossistemas aquáticos eutrofizados (LANDOLT, 1986; LANDOLT; KANDELER, 1987; POTT; POTT, 2000), podendo ser utilizadas como complemento alimentar do homem, além de apresentar propriedades medicinais (BRAGA, 1976 apud POTT; POTT, 2000). Várias pesquisas têm dado atenção ao potencial das macrófitas aquáticas para o tratamento e reciclagem de nutrientes oriundos de efluentes municipais, industriais e rurais (ARAUJO, 1987; BRIX; SCHIERUP, 1989; RAO, 1986) pela sua capacidade de assimilar rapidamente os nutrientes e de convertê-los diretamente em matéria viva (REED; MIDDLEBROOKS; CRITES, 1995).

Diferentes autores têm proposto o uso de sistemas baseados em macrófitas, especialmente por Lemnaceas em razão da eficiência e baixo custo do tratamento de águas residuárias de regiões urbanas ou rurais (ZIRSCHKY; REED, 1988; ORON, 1994; IQBAL, 1999; GIJZEN, 2001). Esses sistemas são lagoas de estabilização, nas quais a superfície da água é completamente coberta por uma manta de Lemnaceas. Estudos realizados comparando tratamentos com e sem plantas concluem que o desempenho é maior na presença delas (IWA, 2000), que podem ser quantificadas utilizando-se a escala de Braun-Blanquet (1928 apud DUVIGNEAUD, 1980, p. 27).

O fósforo está presente na maioria das águas continentais, principalmente nas regiões temperadas, onde está diretamente relacionado à produtividade do ambiente, sendo o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas. A alta concentração de fósforo e nitrogênio em lagoas de maturação favorece o aparecimento de diferentes grupos ecológicos de algas filamentosas e fitoflagelados, prejudicando a instalação de macrófitas submersas e flutuantes (ESTEVES, 1998). Entretanto, quando as macrófitas flutuantes cobrem a superfície das lagoas, impossibilitam a penetração da luz, impedindo o crescimento de suas competidoras (IQBAL, 1999).

O nitrogênio está presente no ambiente aquático sob várias formas, como amônia, nitrito, nitrato, íon, amônio, entre outros (ESTEVES, 1998). Nas lagoas de maturação que recebem efluentes suinícolas, na maioria dos casos, estão englobadas as concentrações das duas formas de nitrogênio amoniacal (NH_3

e NH_4^+). A relativa concentração de cada uma dessas formas depende do pH e da temperatura, ou seja, a concentração de NH_3 aumenta com a elevação do pH e da temperatura. As concentrações de nitrogênio também são afetadas por uma ampla e diversa população de microrganismos aeróbios, anaeróbios, fitoplancton, zooplancton e macrófitas. (CAICEDO, 2005).

As regiões Sul e Centro-Oeste do estado de Santa Catarina apresentam uma intensa atividade suinícola relatada por diversos trabalhos e estudos em relação à minimização dos impactos dos efluentes gerados por essa atividade (OLIVEIRA et al., 1993; MEDRI, 1997; BAVARESCO, 1999; COSTA; SILVA; OLIVEIRA, 1995, 2000; ZANOTELLI, 2002). Pelas necessidades ambientais globais, essas novas tecnologias visam corrigir as distorções de produção e manejo do século passado com prevenção ao dano ambiental, buscando a adequação às normas de controle (TOTTI; CARVALHO; PEDROSA, 2007). Portanto, muitas esterqueiras e lagoas de armazenamento foram abandonadas, principalmente aquelas que não se enquadram dentro das especificações mínimas propostas pela legislação vigente.

Os efluentes armazenados em reservatórios abandonados ficam então sujeitos a tratamento por processos naturais, que se instalam e começam a desenvolver um intrincado sistema, com complexos processos físico-químicos e microbiológicos, principalmente quando ele é complementado por macrófitas, sejam elas flutuantes, sejam enraizadas.

O presente trabalho compreendeu o monitoramento de duas esterqueiras e de duas lagoas de águas residuárias da suinocultura, em desuso, localizadas em duas regiões com altitudes e temperaturas distintas no estado de Santa Catarina. Este trabalho objetivou o conhecimento das condições de desenvolvimento, em cada local, de forma independente, procurando identificar o comportamento nas mudanças quantitativas das características ambientais aquáticas em termos de nutrientes.

2 METODOLOGIA

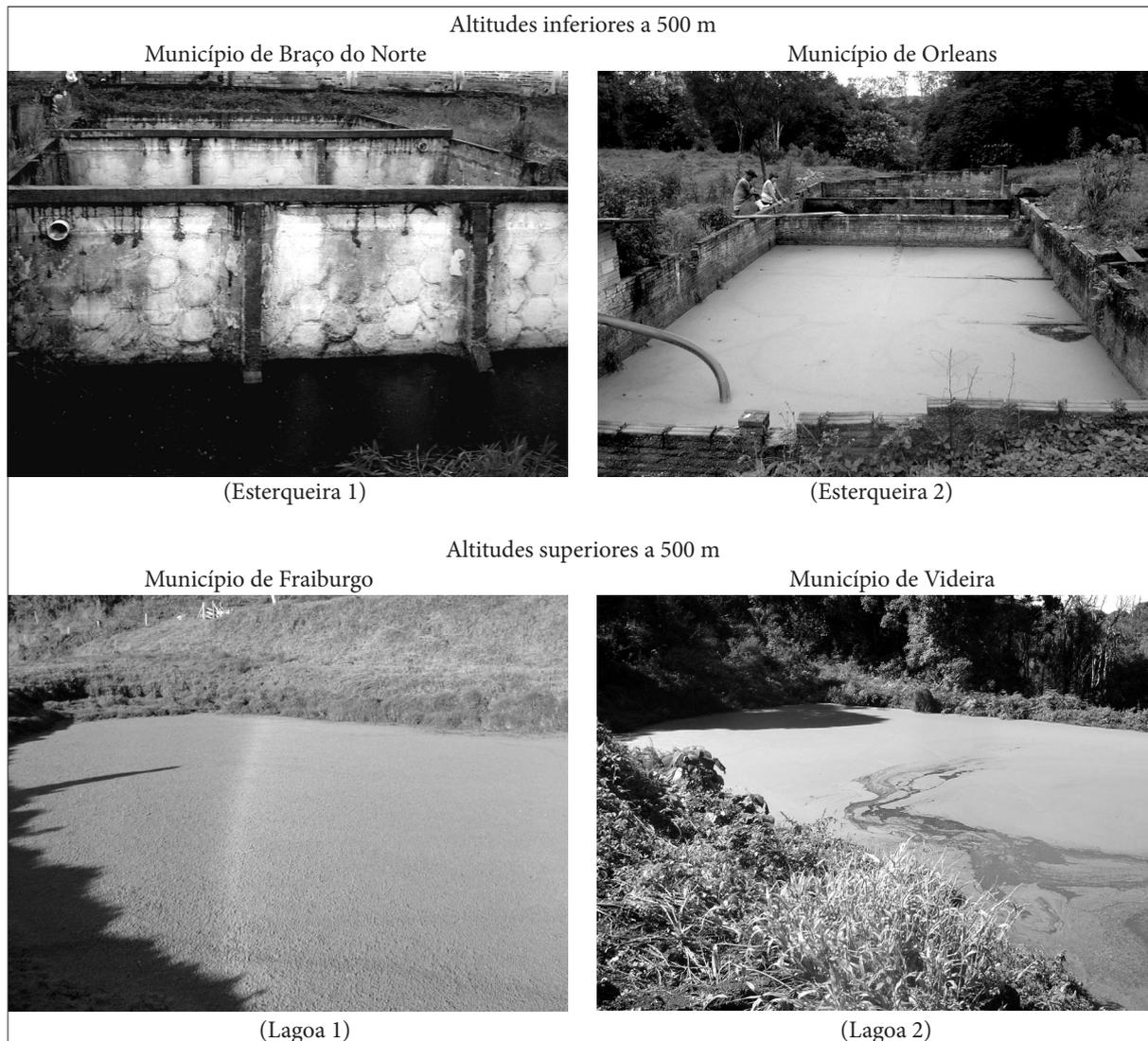
Este trabalho é um estudo de campo de caráter exploratório, constando de um monitoramento de parâmetros físico-químicos (temperatura da água, pH, nitrogênio total, fósforo reativo) e biológicos (incidência de macrófitas), a fim de observar a remoção de nutrientes em águas residuárias da suinocultura, provenientes de esterqueiras e lagoas em desuso.

2.1 ESCOLHA DOS LOCAIS DE ESTUDO

Dois regiões que apresentam características distintas foram selecionadas em virtude das diferenças climáticas e de altitude. A primeira região localiza-se no Sul do estado de Santa Catarina, com altitude inferior a 500 m, com características de clima subtropical constantemente úmido (município de Braço do Norte e Orleans) e a segunda, no Planalto, na Região Centro-Oeste do Estado, com altitude superior a 500 m, apresentando características de clima temperado constantemente úmido (município de Videira e Fraiburgo).

Durante um período de quatro meses (junho a setembro de 2006) foram visitadas e selecionadas 40 propriedades nas duas regiões. Desse universo, foram escolhidas quatro que se apresentavam as seguintes características: presença de lagoas e/ou esterqueiras em desuso, com um período de desativação próximo ou semelhante; reservatórios com presença de macrófitas flutuantes por povoamento natural; compromi-

so dos proprietários no sentido de manter as condições inicialmente encontradas durante o período do monitoramento. As propriedades enquadradas e selecionadas são apresentadas na Fotografia 1.



Fotografia 1: Locais selecionados (Esterqueira 1 e 2). Esterqueiras localizadas em Braço do Norte e Orleans. (Lagoa 1 e 2) – Lagoas localizadas em Fraiburgo e Videira

Após a identificação das propriedades que apresentavam as lagoas e esterqueiras com as características mencionadas, uma descrição foi feita e resumida na Tabela 1.

Tabela 1: Localização das esterqueiras selecionadas, altitude, estado atual, dimensões e data da desativação (continua)

Região	Município e localização georreferenciada	Identificação	Característica visual, dimensões	Data de desativação
< a 500 m	Braço do Norte Georef.: 28°16'410"S 49°08'002"W Altitude: 52 m	Esterqueira 1	Esterqueira construída, estrutura com paredes de cimento, tijolos e revestida. Apresenta 3 compartimentos. Recebia dejetos de Granja de Ciclo Completo. Atualmente, apresenta rachaduras. Recebe água da chuva e um dos compartimentos apresenta muito lodo. Dimensões: 3.5 x 2.4 x 3.2 m cada compartimento.	Julho/2000

Tabela 1: Localização das esterqueiras selecionadas, altitude, estado atual, dimensões e data da desativação (conclusão)

Região	Município e localização georreferenciada	Identificação	Característica visual, dimensões	Data de desativação
a 500 m	Orleans	Esterqueira 2	Esterqueira construída, estrutura com paredes de cimento, tijolos e revestida. Apresenta 3 compartimentos, com 8 células cada. Recebia dejetos de Granja de Ciclo Completo. Recebe água da chuva. Atualmente, apresenta rachaduras no último compartimento. Dimensões: 2.0 x 2.3 x 2.0 m cada célula	Janeiro/2001
	Fraiburgo	Lagoa 1	Lagoa em solo compactado, sem revestimento, com mais de 30 anos de uso. Recebia dejetos de Granja de Ciclo Completo. Atualmente, serve como captadora de águas pluviais e fonte de matéria orgânica para os açudes da propriedade. Dimensões: 25.0 x 6.5 x 3.50 m cada lagoa.	Março/2004
	Videira	Lagoa 2	Lagoa em solo compactado, com mais de 25 anos de uso, que recebia dejetos de uma unidade de creche de leitões. Apresenta uma grande quantidade de lodo sedimentado e correspondia a lagoa de maturação do sistema. As macrófitas se instalaram recentemente Set. 2006. Dimensões: 30.5 x 12.0 x 2.40 m.	Maió/2006

2.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O monitoramento das esterqueiras e lagoas foi realizado no período de outubro de 2006 a maio de 2009. O monitoramento constou de análises de parâmetros físico-químicos realizados com periodicidade mensal durante um período de 29 meses. As amostras foram coletadas em posições aleatórias, a uma profundidade de 5 a 10 cm da superfície, dentro da região de atuação das raízes das macrófitas flutuantes.

Para avaliação dos parâmetros físico-químicos foram utilizados os materiais e métodos seguindo a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21^o Ed.). Os parâmetros foram: pH; temperatura da água (°C); P-PO₄ (mg.L⁻¹); N_{total} (mg.L⁻¹).

2.3 COLETA E DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS ENCONTRADAS

As macrófitas flutuantes encontradas nos locais selecionados foram preparadas para herborização. A coleta e a fixação seguiram a metodologia de coleta e preparação de material biológico, de acordo com Landolt (1986). As exsiccatas foram enviadas para o Herbário de Campo Grande, de Mato Grosso do Sul (CGMS-MS), para confirmação do gênero/espécie. Todas as exsiccatas de macrófitas coletadas nas lagoas e esterqueiras receberam o número de catalogação.

2.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os parâmetros analisados formam a base do monitoramento da qualidade da água residuária. São dados quantitativos reunidos em médias anuais com seus respectivos desvios-padrão, a divisão dos anos

em períodos sazonais, com suas respectivas médias e desvios-padrão. As médias relativas às estações foram comparadas pelo método Anova. A estatística descritiva dos dados foi realizada por meio da planilha eletrônica Excel 2003 e apresentados em gráficos temporais.

2.5 ABUNDÂNCIA/DOMINÂNCIA DAS MACRÓFITAS

Para estimar a quantificação da ocupação da biomassa, foi utilizada a escala de Braun-Blanquet (1928 apud DUVIGNEAUD, 1980, p. 27) para exprimir o grau de cobertura vegetal por um só número, a abundância-dominância, seguindo a referida escala com as adaptações que se fizeram necessárias para atingir populações mais densas, conforme descrito a seguir. Os dados coletados foram reunidos em uma tabela e apresentados em um gráfico.

8: indivíduos cobrindo fortemente a superfície e se sobrepondo; ^(a)
7: indivíduos cobrindo fortemente a superfície; ^(b)
6: indivíduos cobrindo levemente toda a superfície; ^(c)
5: indivíduos cobrindo mais de $\frac{3}{4}$ da superfície;
4: indivíduos cobrindo de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ da superfície;
3: indivíduos cobrindo de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ da superfície;
2: indivíduos muito numerosos, ou cobrindo pelo menos $\frac{1}{20}$ da superfície;
1: indivíduos bastante numerosos, com um grau de cobertura fraco;
+: indivíduos raros ou muito raros, com um grau de cobertura muito fraco.

Quadro 1: Mostra da Escala de Braun-Blanquet

Fonte: com base em Braun-Blanquet (1928 apud DUVIGNEAUD, 1980).

Nota: (^{a,b,c}) Como se trata de ambientes eutrofizados, houve necessidade de ampliar a escala para que todos os níveis de povoamento fossem contemplados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A regularidade das coletas propiciou uma reunião de dados que permite visualizar as variações de concentração dos diferentes nutrientes nas lagoas ou esterqueiras em desuso. Cabe ressaltar que o objetivo foi de descrição e caracterização de cada unidade em particular na remoção dos nutrientes.

3.1 TEMPERATURA DA ÁGUA

A temperatura da água durante o período da coleta apresentou variações que acompanham a sazonalidade anual. As médias anuais mostraram que o ano mais frio para a região de baixa altitude foi 2008, com uma média de temperatura da água de $18,5 \pm 3,1$ °C para o período de inverno e de $20,8 \pm 1,2$ °C para o período de verão de 2009. Para regiões de altitude, o ano mais frio também foi 2008, com uma temperatura da água $16,7 \pm 3,3$ °C na cidade de Fraiburgo, onde as temperaturas mais elevadas ($20,3 \pm 4,5$ °C) foram observadas no verão de 2007.

Durante o período de monitoramento, a Esterqueira 1 apresentou variação sazonal estatisticamente significativa ($p < 0,001$) da temperatura da água, com médias de $15,9 \pm 1,1$ °C durante os meses de

inverno e de 22.3 ± 1.0 °C para o período de verão. A Esterqueira 2 apresentou variação sazonal estatisticamente significativa ($p < 0.001$) da temperatura da água com médias de 15.6 ± 1.3 °C durante os meses de inverno e de 21.8 ± 0.8 °C para o período de verão (Gráfico 1 – Esterqueira 1 e 2).

O Gráfico 1 apresenta as variações anuais de temperatura da água observadas no período de 2007 a 2009 para ambas as regiões estudadas.

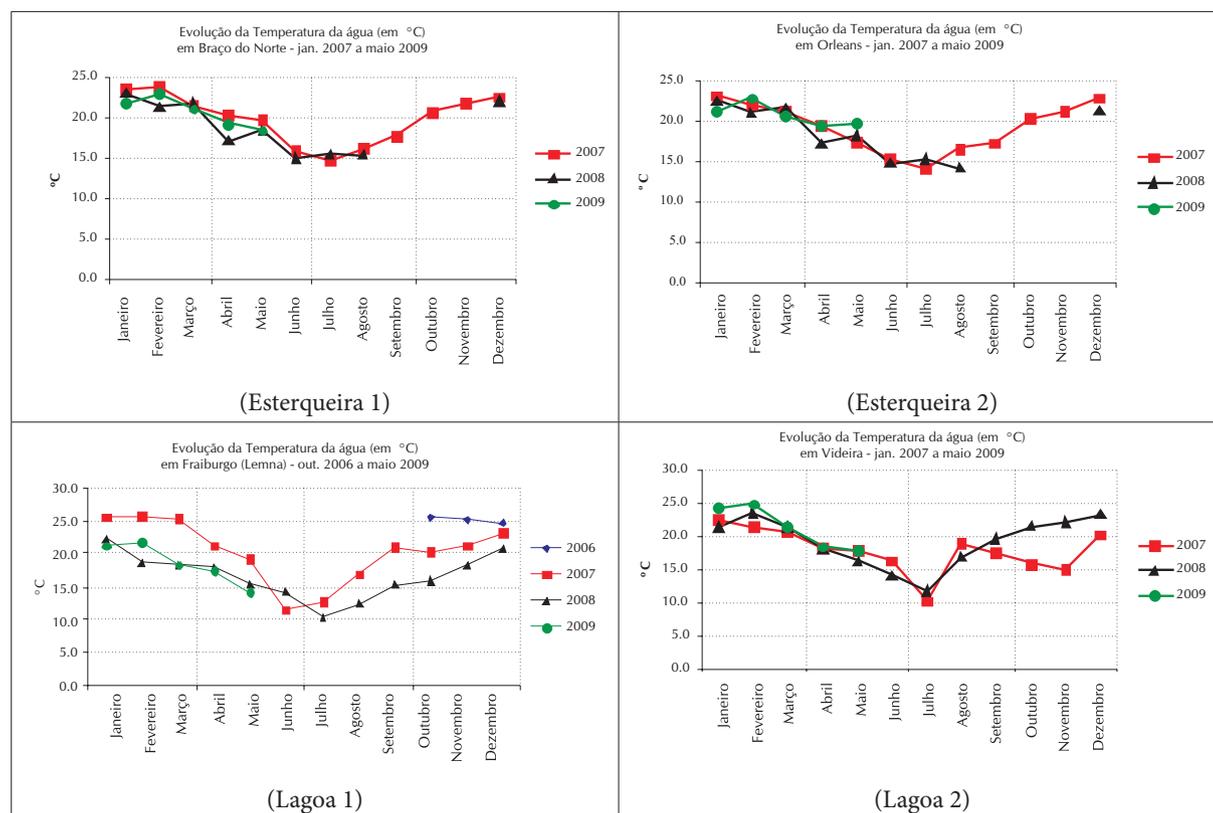


Gráfico 1: Variações anuais de temperatura observadas no período de 2007 a 2009 (Esterqueira 1 e 2). Região abaixo dos 500 m de altitude. (Lagoa 1 e 2) – Região acima dos 500 m de altitude

Durante o período de monitoramento, a Lagoa 1 apresentou variação sazonal estatisticamente significativa ($p < 0.001$) da temperatura da água com médias de 14.7 ± 3.5 °C durante os meses de inverno e de 22.0 ± 2.9 °C para o período de verão. A Lagoa 1 apresentou a média anual da água mais baixa no ano de 2008, com valores de 16.7 ± 3.3 °C de uma média geral de 19.1 ± 4.4 °C para todo o período de monitoramento (Gráfico 1, Lagoa 1).

A Lagoa 2 apresentou variação sazonal estatisticamente significativa ($p < 0.001$) da temperatura da água com médias de 15.8 ± 3.6 °C durante os meses de inverno e de 22.4 ± 1.4 °C para o período de verão. A Lagoa 2 apresentou a média anual da água mais baixa no ano de 2008 com valores de 16.7 ± 3.3 °C de uma média geral de 19.0 ± 3.5 °C para todo o período de monitoramento (Gráfico 1, Lagoa 2).

3.2 PH DA ÁGUA

O pH durante o período de monitoramento, na Esterqueira 1 apresentou um decaimento ao longo do tempo estatisticamente significativo ($p = 0.009$) com médias de 7.4 ± 0.3 em 2007 e 7.1 ± 0.2 para o iní-

cio de 2009. Para as médias sazonais, o valor mais baixo se apresentou no inverno, com média geral de 7.1 ± 0.2 para todos os anos do monitoramento (Gráfico 2, Esterqueira 1).

A Esterqueira 2 apresentou a média geral para o período de monitoramento de 7.0 ± 0.2 . Apresentou um decaimento ao longo do tempo estatisticamente significativo ($p = 0.056$) com médias de 7.1 ± 0.2 em 2007 e 6.9 ± 0.1 para o início de 2009. Para as médias sazonais no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no início do inverno com média de 6.9 ± 0.2 (Gráfico 2, Esterqueira 2).

A região de menor altitude apresentou maior índice pluviométrico durante o segundo semestre de 2008, segundo os boletins informativos da Epagri-Ciram nessa época, sendo compatível com o menor valor de pH observado, estando em concordância com o descrito por Nodari (2006), que refere uma maior concentração de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos quando os índices pluviométricos são menores.

O Gráfico 2 apresenta as variações anuais de pH observadas no período de 2007 a 2009 para ambas as regiões estudadas.

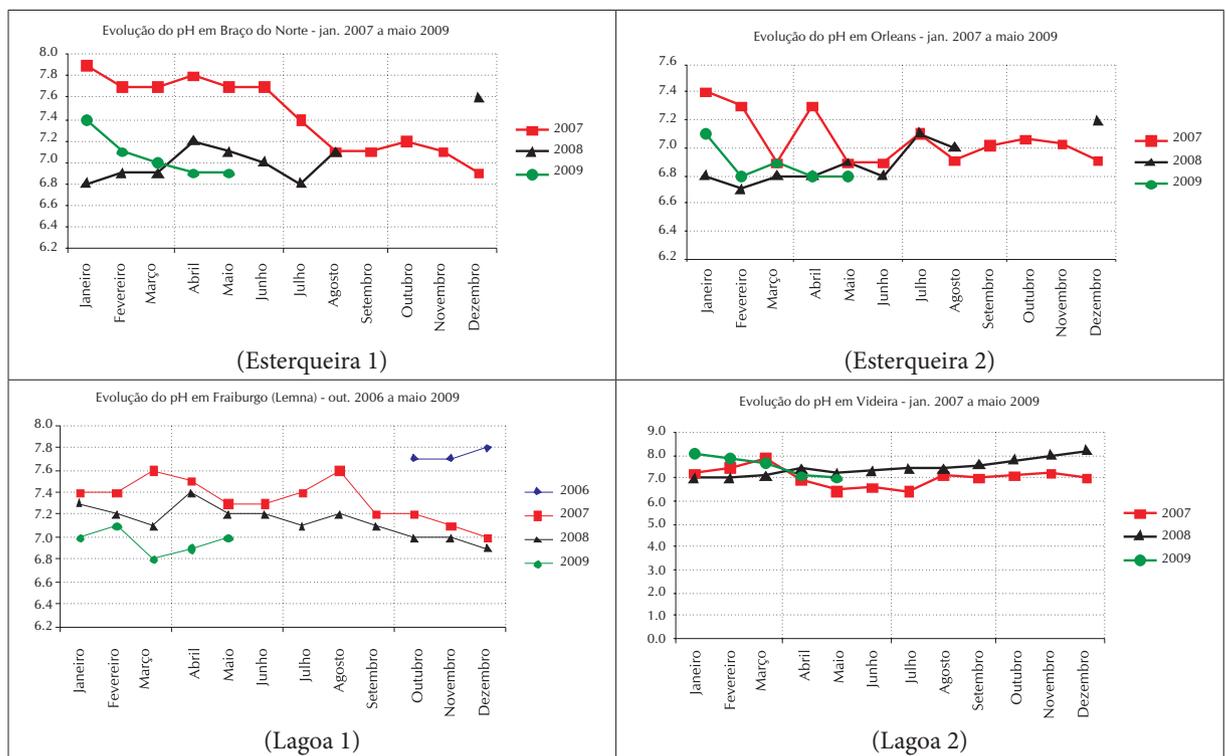


Gráfico 2: Variações anuais de pH observadas no período de 2007 a 2009 (Esterqueiras 1 e 2). Região abaixo dos 500 m de altitude. (Lagoas 1 e 2) – região acima dos 500 m de altitude

O pH durante o período de monitoramento, na Lagoa 1 apresentou um decaimento ao longo do tempo do monitoramento estatisticamente significativo ($p < 0.001$), com médias de 7.3 ± 0.2 em 2007 e 7.0 ± 0.1 para o início de 2009. Para as médias sazonais, os valores não apresentaram variações estatisticamente significativas ($p = 0.963$) durante todos os anos do monitoramento (Gráfico 2, Lagoa 1).

A Lagoa 2 teve, durante o período de monitoramento, valor médio de pH de 7.3 ± 0.5 . Apresentou discreto aumento ao longo do tempo estatisticamente significativo ($p = 0.026$) com médias de 7.0 ± 0.4 em 2007 e 7.6 ± 0.4 para o início de 2009. Para as médias sazonais no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no outono, média de 7.0 ± 0.3 e os valores mais altos no início do verão, com valores de 7.6 ± 0.5 de pH (Gráfico 2, Lagoa 2).

3.3 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO (P-PO₄) NA ÁGUA

O fósforo foi investigado em termos de fósforo reativo (em ligação orgânica), pois os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões para formas mais simples. A principal fonte de fósforo das duas esterqueiras e das lagoas foram os efluentes das granjas suínícolas.

A Esterqueira 1, para o período de monitoramento, apresentou média de 154.7±53.0 mg.L⁻¹ de P-PO₄. Apresentou um decaimento ao longo do tempo estatisticamente significativo (p= 0.001) com médias de 192.7±32.1 mg.L⁻¹ de P-PO₄ em 2007, correspondentes ao primeiro ano do monitoramento e 112.4±19.6 mg.L⁻¹ de P-PO₄ para o início de 2009. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no outono média de 140.1±39.0 mg.L⁻¹ de P-PO₄ e os valores mais altos no início do verão com 179.2±55.6 mg.L⁻¹ de P-PO₄ no final da primavera e início do verão (Gráfico 3, Esterqueira 1). A Esterqueira 1 comportou-se de forma atípica com valores altos, em virtude de interferências externas decorrentes da necessidade que o produtor teve de utilizar essa área da propriedade para criação de gado durante o período de inverno, comprometendo os resultados para esse parâmetro.

A Esterqueira 2 apresentou a média geral para o período de monitoramento de 26.5±12.6 mg.L⁻¹ de P-PO₄. Apresentou discreto aumento ao longo do tempo, não sendo estatisticamente significativo (p= 0.846), com médias de 24.9±14.10.4 mg.L⁻¹ de P-PO₄ em 2007 e 26.8±9.90 mg.L⁻¹ de P-PO₄ para o início de 2009. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no inverno de todos os períodos, com média de 15.6±3.7 mg.L⁻¹ de P-PO₄ e os valores mais altos no verão, com 36.7±11.6 mg.L⁻¹ de P-PO₄ sendo as diferenças (p= 0.007) estatisticamente significativas (Gráfico 3 – Esterqueira 2). A diferença entre os valores inicial (60.4 mg.L⁻¹ de P-PO₄) e final (18.3 mg.L⁻¹ de P-PO₄) é expressivo.

O Gráfico 3 apresenta as variações das concentrações (mg.L⁻¹ de P-PO₄) observadas no período de 2007 a 2009 para ambas as regiões estudadas.

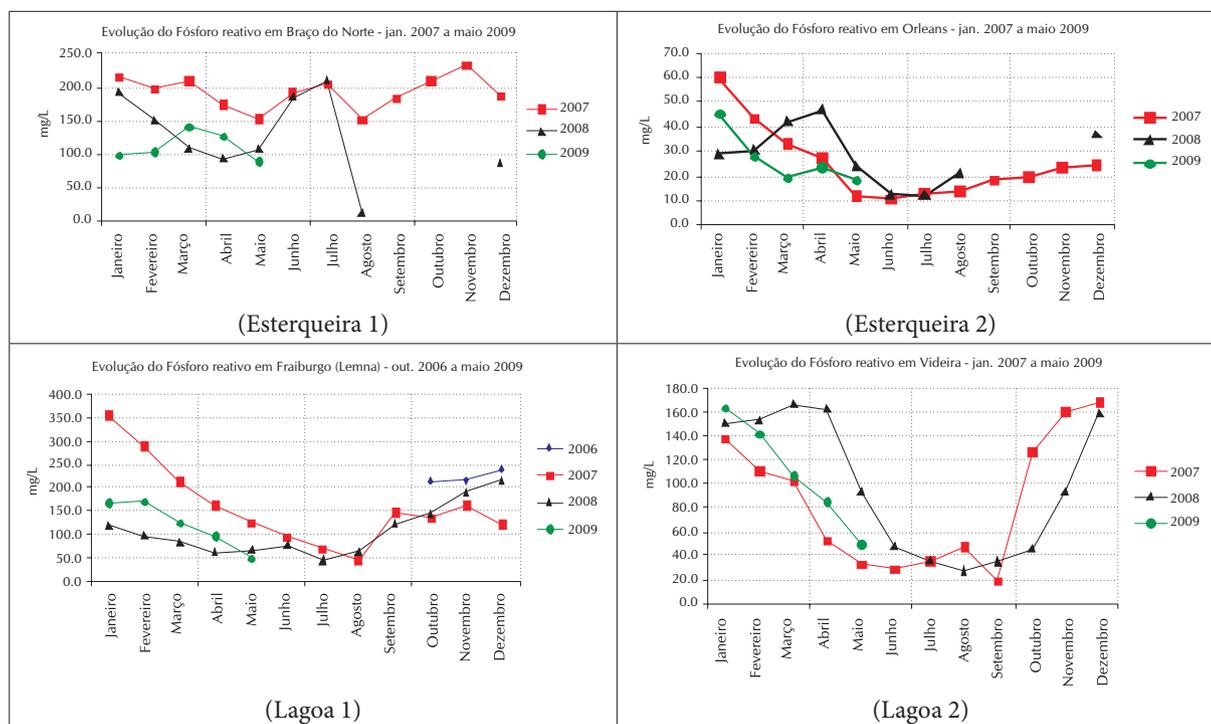


Gráfico 3: Variações anuais do fósforo observadas no período de 2007 a 2009 (Esterqueira 1 e 2). Região abaixo dos 500 m de altitude. (Lagoas 1 e 2) – região acima dos 500 m de altitude

A Lagoa 1 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $139.9 \pm 72.9 \text{ mg.L}^{-1}$ fósforo reativo. Apresentou um decaimento ao longo do tempo do monitoramento estatisticamente significativo ($p=0.051$), com médias de $223.5 \pm 11.7 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 em final de 2006 correspondentes ao primeiro trimestre do monitoramento e $121.7 \pm 46.0 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 para o início de 2009. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou nos invernos dos períodos com uma média de $81.5 \pm 38.6 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 e os valores mais altos de $182.2 \pm 40.0 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 no final da primavera e início do verão (Gráfico 3, Lagoa 1). A Lagoa 1 apresentou um comportamento mais estável, demonstrando redução considerável nos níveis de fósforo do início ao final do monitoramento (valor inicial = 213.6 mg.L^{-1} de P-PO_4 e valor final = 48.3 mg.L^{-1} de P-PO_4).

A Lagoa 2 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $94.4 \pm 52.8 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 de fósforo reativo. Apresentou um aumento ao longo do tempo ($p=0.681$) com médias de $84.8 \pm 52.8 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 em 2007 e $109.3 \pm 40.8 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 para o início de 2009. O que se nota é a grande variação dos valores ao longo dos meses do ano. Para o período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no inverno de todos os períodos, com média de $33.0 \pm 8.7 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 e os valores mais altos no verão com $137.1 \pm 23.3 \text{ mg.L}^{-1}$ de P-PO_4 sendo as diferenças estatísticas altamente significativas ($p < 0.001$) para as médias sazonais (Gráfico 3, Lagoa 2).

O fósforo nas três unidades (Esterqueiras 1, Lagoas 1 e 2) apresentou valores bastante elevados. Os valores da Esterqueira 2 estão abaixo dos 60.0 mg.L^{-1} de P-PO_4 , em razão do reservatório possuir um tratamento diferenciado com remoção semanal de macrófitas flutuantes.

3.4 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL NA ÁGUA

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos (VON SPERLING, 1996). Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos, a forma aqui avaliada é em termos de nitrogênio total.

A Esterqueira 1 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $31.7 \pm 14.9 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} . Apresentou um aumento ao longo do tempo de monitoramento ($p=0.303$) com médias de $27.5 \pm 10.9 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} em 2007, correspondentes ao primeiro ano do monitoramento e $40.1 \pm 14.9 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} para o início de 2009. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no inverno, com média de $29.5 \pm 9.9 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} e os valores mais altos no início do verão, com $39.5 \pm 18.3 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} no final da primavera e início do verão (Gráfico 4, Esterqueira 1).

A Esterqueira 2 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $12.9 \pm 16.2 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} . Apresentou um decaimento da concentração dos nutrientes ao longo do tempo, não sendo estatisticamente expresso pelo p_{valor} ($p=0.673$) com a média máxima de $15.5 \pm 20.0 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} e média mínima de $8.9 \pm 12.6 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} no ano de 2008. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou no inverno de todos os períodos, com média de $1.9 \pm 0.5 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} e os valores mais altos no final da primavera e início do verão, com $27.7 \pm 23.0 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} , sendo as variações das médias sazonais estatisticamente significativas ($p=0.020$) no decorrer do monitoramento (Gráfico 4, Esterqueira 2). A Esterqueira 2 foi a que apresentou maior decaimento de concentração desde o início do monitoramento (50.2 mg.L^{-1} de N_{total} em jan. 2007) para uma concentração média de

$1,7 \pm 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} nos meses de julho de 2007 e 2008, com discreta elevação no final do período avaliado, ou seja, $4,6 \pm 1,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} nos meses de abril e maio de 2009. Na Esterqueira 2 ocorre uma retirada constante de macrófitas pelo proprietário e um consequente repovoamento pelas plantas. Esse manejo explica a redução dos teores de nutrientes disponíveis, que não retornam ao meio líquido pela decomposição da matéria orgânica.

Nas Esterqueiras 1 e 2 não houve monitoramento nos meses de setembro a novembro de 2008, pelas intensas chuvas que ocorreram nesse período. Isso também é verificado com o aumento da variação dos valores dos parâmetros nos meses subsequentes, pelo revolvimento dos sedimentos pela enxurrada.

O Gráfico 4 apresenta as variações das concentrações (N_{total}) observadas no período de 2007 a 2009 para ambas as regiões estudadas.

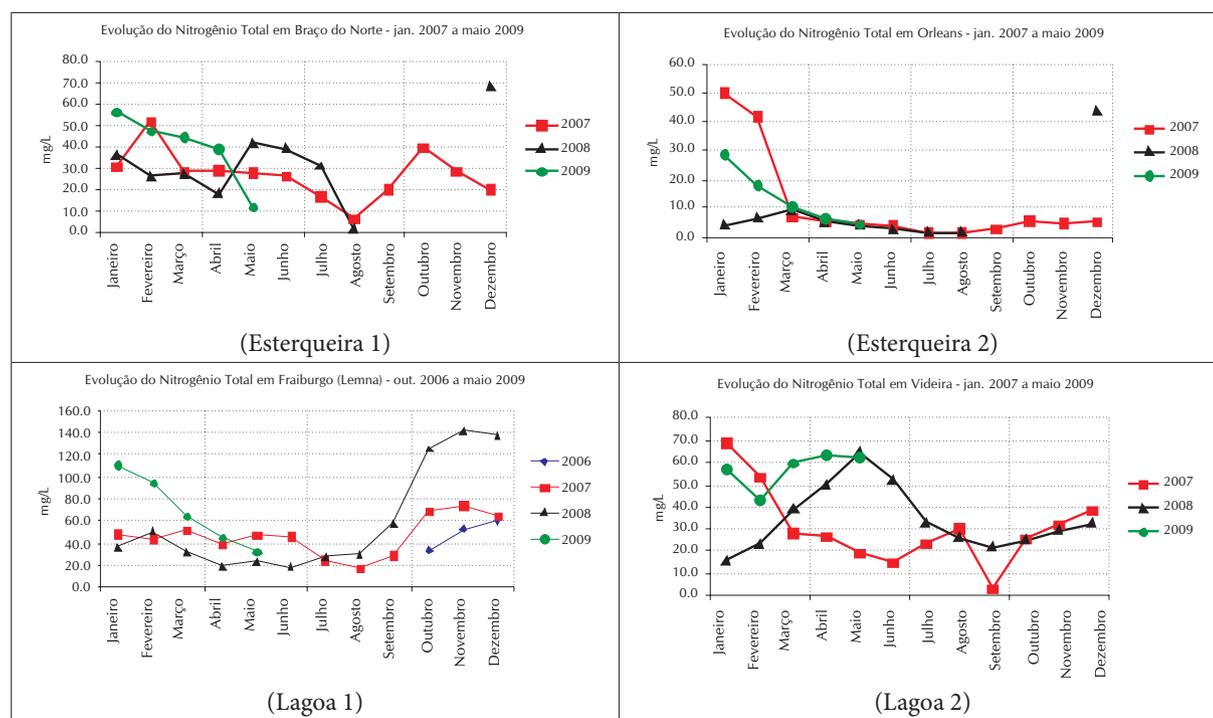


Gráfico 4: Variações anuais do N_{total} observadas no período de 2007 a 2009 (Esterqueira 1 e 2). Região abaixo dos 500 m de altitude. (Lagoas 1 e 2) – região acima dos 500 m de altitude

A Lagoa 1 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $54,5 \pm 33,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} . Apresentou um discreto aumento ao longo do tempo do monitoramento, mas, estatisticamente significativo ($p=0,609$), com médias máximas de $46,0 \pm 16,7 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} em 2007 e $69,1 \pm 29,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} para o início de 2009. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral mais baixo se apresentou nos invernos dos períodos, com média de $30,7 \pm 13,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} e os valores mais altos de $84,2 \pm 37,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} no final da primavera e início do verão, principalmente no ano de 2008 (Gráfico 4, Lagoa 1). Essa lagoa, por se localizar em uma área de declive do terreno, recebe por lixiviação os nutrientes da pastagem ao seu redor nas estações chuvosas, aumentando as concentrações do parâmetro.

A Lagoa 2 apresentou a média geral para o período de monitoramento de $36,5 \pm 17,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} . Apresentou um discreto aumento ao longo do tempo do monitoramento, mas, estatisticamente significativo ($p=0,008$), com médias máximas de $57,0 \pm 7,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} no início de 2009 e mínima de $30,2 \pm 16,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} para 2007. Para as médias sazonais, no período de monitoramento, o valor geral

mais baixo se apresentou nos invernos dos períodos, com média de $22.8 \pm 9.7 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} e os valores mais altos de $44.1 \pm 19.5 \text{ mg.L}^{-1}$ de N_{total} no final do verão (Gráfico 4, Lagoa 2). Essa lagoa não apresenta ainda uma constante e homogeneidade na variação sazonal dos seus nutrientes, provavelmente pelo curto período de tempo desde sua desativação.

3.5 DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS ENCONTRADAS

As macrófitas encontradas nas quatro unidades são plantas da mesma espécie. Os exemplares herborizados e depositados no Herbário do CGMS foram os seguintes: Braço do Norte – *Lemna minuta* Kunth (CGMS n. 25.170); Orleans – *Lemna minuta* Kunth (CGMS n. 25.171); Fraiburgo – *Lemna minuta* Kunth (Herbário CGMS n. 25.172); Videira – *Lemna minuta* Kunth (CGMS n. 25.176).

As superfícies das quatro unidades de observação apresentaram inicialmente uma cobertura de macrófitas da espécie *Lemna minuta* Kunth. Durante todo o período de monitoramento, as superfícies das esterqueiras e das lagoas estiveram cobertas pelas macrófitas, não permitindo a penetração da luz solar.

3.6 ABUNDÂNCIA/DOMINÂNCIA DAS MACRÓFITAS

Os dados do acompanhamento mensal foram reunidos na Tabela 2, segundo os critérios de abundância/dominância estabelecidos por Braun-Blanquet (1928).

Tabela 2: Tabela de Braun-Blanquet (1928) para abundância/dominância da superfície de lagoas por macrófitas flutuantes (adaptado)

Ano	Esterqueira Lagoas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2007	Est. 1	3	3	4	4	4	5	5	5	5	4	4	3
	Est. 2	5	5	6	6	6	7	8	8	7	7	6	5
	Lagoa 1	3	3	4	4	5	6	6	6	6	5	4	3
	Lagoa 2	1	1	2	2	3	4	4	5	5	5	5	5
2008	Est. 1	3	3	4	4	5	5	5	5	-	-	-	1
	Est. 2	4	4	5	5	6	7	7	6	-	-	-	1
	Lagoa 1	3	4	4	5	5	6	6	5	4	4	3	2
	Lagoa 2	4	4	5	5	5	6	7	6	6	5	4	3
2009	Est. 1	1	2	2	3	4							
	Est. 2	2	5	6	6	7							
	Lagoa 1	2	2	3	4	5							
	Lagoa 2	3	3	3	4	5							

A Esterqueira 1 apresentou no início do monitoramento uma cobertura de aproximadamente 40% da superfície da esterqueira (Jan. 2007). Essa cobertura apresenta o grau de ocupação 3. O máximo que essa esterqueira atingiu foi o grau de ocupação 5 nos períodos de inverno. O valor mais baixo atingido foi o grau 1, logo após o período de intensas precipitações na região costeira do estado de Santa Catarina no segundo semestre de 2008 (Tabela 2). Essa esterqueira não apresenta nenhum tipo de retirada de biomassa; as plantas que ali se desenvolvem completam seu ciclo vital e morrem. Inicia-se, então, a recicla-

gem dos nutrientes e que podem se depositar como sólidos sedimentáveis ou retornar como nutrientes disponíveis à biomassa, não apresentando remoção real dos nutrientes.

O proprietário da Esterqueira 2 conduz um rígido manejo da biomassa gerada, a isso pode ser visto pelo grau de ocupação que as plantas impõem ao sistema da esterqueira. O valor inicial observado foi o grau de ocupação 5, em janeiro de 2007. O grau 5 corresponde a uma cobertura de 75% a 80% da superfície, chegando ao grau 7 e 8 durante o final de outono, inverno e início da primavera com as macrófitas cobrindo fortemente toda a superfície, sobrepondo-se umas às outras. Um decaimento é observado no período de verão (Gráfico 4).

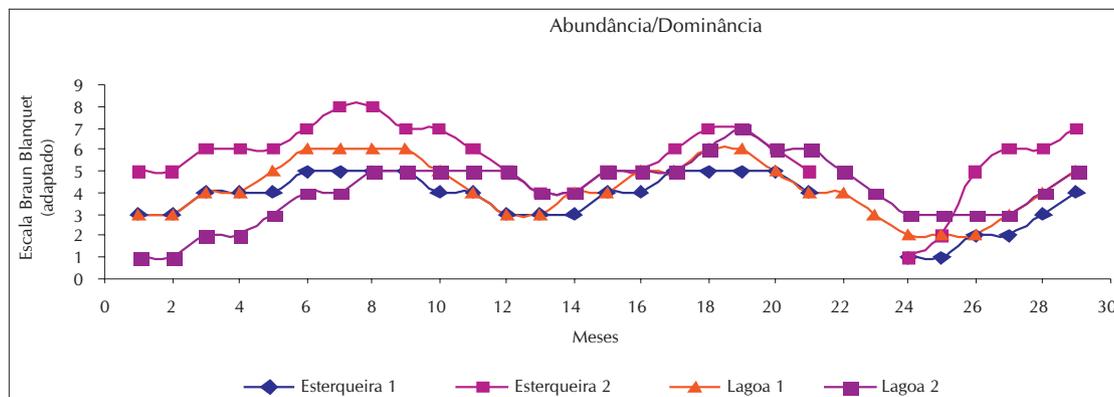


Gráfico 5: Evolução da biomassa nas 4 unidades de observação do monitoramento (jan. 2007 a maio de 2009)

A Lagoa 1 apresentou no início do monitoramento uma cobertura de grau 3 da superfície de cobertura da esterqueira (Jan. 2007), que corresponde a aproximadamente 45% da cobertura da superfície. O máximo que essa lagoa atingiu foi o grau de ocupação 6 nos períodos de inverno observados. O valor mais baixo atingido foi o grau 2 no final de 2008, voltando a uma rápida recuperação no início de 2009 (Tabela 2). Essa lagoa não sofreu nenhum tipo de retirada de biomassa; as plantas que ali se desenvolveram completaram seu ciclo vital e morreram. Inicia-se, então, a reciclagem dos nutrientes e que podem se depositar como sólidos sedimentáveis no fundo da lagoa ou retornar como nutrientes disponíveis à biomassa, não apresentando remoção efetiva dos nutrientes.

A Lagoa 2 apresentou no início do monitoramento uma cobertura de grau 1 da superfície da lagoa (Jan. e Fev. 2007), que corresponde a muitos indivíduos presentes, mas o grau de cobertura fraco da superfície. O máximo que essa lagoa atingiu foi o grau de ocupação 7 nos períodos de inverno observados. O valor mais baixo atingido foi o grau 3 no final de 2008, voltando a uma rápida recuperação no início de 2009 (Tabela 2). Essa lagoa não sofre nenhum tipo de retirada de biomassa; as plantas que ali se desenvolvem completam seu ciclo vital e morrem, como nas demais unidades monitoradas.

4 CONCLUSÃO

Pelos resultados apresentados nesse monitoramento, observou-se que lagoas ou esterqueiras que deixaram de receber efluentes são reservatórios de nutrientes importantes à produção de biomassa, nesse caso por macrófitas flutuantes da espécie *Lemna minuta* Kunth.

Após a desativação das esterqueiras e lagoas, inicia-se o processo de biorremediação, que sendo uma atividade biológica, instala-se e apresenta constantes alterações de forma lenta e constante.

O monitoramento demonstrou que existem oscilações sazonais das concentrações dos nutrientes estudados. A confirmação dessas oscilações necessitaria de um acompanhamento mais prolongado para confirmação das variações observadas durante o período estudado. Um monitoramento mais prolongado reduziria a indução de erros na interpretação, pois o processo da biorremediação promove a oscilação de parâmetro de controle em decorrência do metabolismo dos organismos atuantes e das variáveis ambientais.

Nesse monitoramento, a comparação entre as quatro unidades estudadas não pôde ser estabelecida, em virtude das particularidades observadas, sendo estas inerentes a cada ambiente investigado.

A Esterqueira 2, que apresenta um manejo constante, demonstrou maior produção de biomassa e, conseqüentemente, uma *performance* também maior na remoção dos nutrientes. Pôde-se notar, também, maior homogeneidade na variação dos nutrientes ao longo do ciclo anual. O grau de cobertura também foi mais intenso nessa unidade.

O monitoramento dos quatro reservatórios de águas residuárias da suinocultura apresentou redução geral das concentrações dos nutrientes, entretanto, o período de monitoramento necessitaria de uma continuidade para se desenhar uma evolução mais minuciosa do quadro de redução de nutrientes pela macrófita *Lemna minuta* Kunth.

A variação sazonal do fósforo reativo e do nitrogênio total mostrou-se de forma inversa ao grau de cobertura/abundância das unidades.

Characterization of macrophytes and monitoring of nutrients in wastewater from hog raising in two distinct subtropical regions (State of Santa Catarina, Brazil)

Abstract

*The aim of this study was a monitoring of lagoons and ponds with wastewater into disuse, in two distinct subtropical regions of the State of Santa Catarina with growth of macrophytes acting in debugging. The deactivation of lagoons and ponds is an alternative found by the producers to attend the law by the Terms of Adjustment of Conduct (TACs) and changing the production of the properties. These lagoons are turned into fertilizer tanks, rainwater reservoir for watering animals and irrigation. The macrophytes in the debugging process settle and start a process for bioremediation and biomass production. The environmental monitoring showed a decay P-PO₄ and N_{total} in 4 units monitored in winter and an increase in concentration in the summer months. The midden 2 presents a weekly management and thus has a greater homogeneity of variation of nutrients and consequently lower levels. The plant species that are found is *Lemna minuta* Kunth and the work showed the degree of cover / abundance of this macrophytes. We concluded that monitoring is essential to know the process of bioremediation, however there was no comparison among the units.*

Keywords: Monitoring. Orthophosphate. Total nitrogen. Macrophytes.

REFERÊNCIAS

APHA-AWWA –WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: APHA, 2005.

ARAUJO, M. C. Use of water hyacinth in tertiary treatment, of domestic wastewater. **Wat. Sci. Tech.**, n. 19, p. 11-17, 1987.

BAVARESCO, A. S. L. **Lagoas de aguapés no tratamento terciário de dejetos suínos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para tratamento de dejetos suínos. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001.

BRASIL. **Monitoramento ambiental**. Guia IBAMA-GTZ. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/siucweb/guiadechefe/guia/t-1corpo.htm>>. Acesso em: 3 jul. 2009.

BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. **Ambio**, n. 18, p. 100-107, 1989.

CAICEDO, J. R. **Effect of operational variables on nitrogen transformations in duckweed stabilization ponds**. 2005. 163 p. Tese (Doutorado)–Academic Board of Wageningen University, Delft, Netherlands, 2005.

COSTA, R. H. R. et al. Tertiary treatment of the piggery wastes in water hyacinth ponds. **Wat. Sci. Tech.**, v. 42, n. 10-11, p. 211-214, 2000.

COSTA, R. H. R.; SILVA, F. C. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Preliminary studies on the use of lagoons in the treatment of hog waste products. In: IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP. Waste Stabilization ponds: Technology and Applications, 3., 1995, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: IAWQ, 1995.

DUVIGNEAUD, P. **A síntese ecológica**. Lisboa: Inst. Piaget, 1980. 759 p.

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

GIJZEN, H. J. Anaerobes, aerobes and phototrophs: a winning team for wastewater management. **Wat. Sci. Tech.**, v. 44, n. 8, p. 123-132, 2001.

IQBAL, S. **Duckweed Aquaculture: Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries.** SANDEC Report No. 6/99, 1999. 97 p.

IWA Specialist Group on use of macrophytes in water Pollution. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation.** Scientific and Technical Report no 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p.

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

LANDOLT, E.; KANDELER, R. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae) – The family of Lemnaceae – a monographic study v. 2. **Geobot. Inst.**, Zürich: Veröff, v. 5, n. 1, 1987.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos.** 1997. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária e Ambiental)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

NODARI, J. B. Caracterização da poluição hídrica na mini bacia do Rio Preto no Alto Vale do Rio do Peixe. 2006. 146 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental)–Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira, 2006.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: CNPSA/Embrapa, 1993. 188 p.

ORON, G. Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production. **Agric. Water Management.**, n. 26, p. 27-40, 1994.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal.** Corumbá: Embrapa, 2000. 404 p.

RAO, S. V. R. A review of the technological feasibility of aquaculture for municipal wastewater treatment. **Int. J. Env. Studies**, p. 219-223, 1986.

REED, S. C.; MIDDLEBROOKS, E. J.; CRITES, R. W. **Aquatic plants for water treatment and resource recovery.** 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 1995. 542 p.

SEZERINO, P. H. et al. Nutrient removal of piggery effluent using vertical constructed wetlands in southern Brazil. **Wat. Sci. Tech.**, v. 48, n. 2, p. 129-135, 2003.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; PAGIORO, T. A. Métodos em Limnologia: macrófitas aquáticas. In: BICUDO; E BICUDO (Org.). **Amostragem em limnologia**. São Carlos, SP: Rima, 2004.

TOTTI, M. E. F.; CARVALHO, A. M.; PEDROSA, P. Recursos Hídricos e Atuação do Ministério Público na Região Norte Noroeste Fluminense. **Rev. Bras. Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 189-196, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1996. 243 p.

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

ZIRSCHCKY, J.; REED, S. The use of duckweed for wastewater treatment. **J. Wat. Poll. Cont. Fed.**, v. 60, n. 7, p. 1.253-1.258, 1988.

Agradecimentos

À Vali Pott do Herbário do CGMS – MS, pela classificação das espécies das macrófitas flutuantes; às biólogas Deise Angelini e Bruna Rodrigues do Laboratório de Águas e Efluentes da Unoesc, pela dedicação e periodicidade das análises dos efluentes. Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a realização desse monitoramento.

Recebido em 16 de setembro de 2009

Aceito em 5 de novembro de 2009

