Estudos integrados em ecossistema. Estação Ecológica de Jataí

Organizado por:
José Eduardo dos Santos, José Salatiel Rodrigues Pires, Luiz Eduardo Moschini.
São Carlos : EdUFSCar, 2006. 4 volume.

ISBN: 85-7600-083-0
Palavras Chave: 1. Ecossistema. 2. Estação Ecológica de Jataí (SP). I. Título.

Degradação anaeróbia de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernão: metanogênese

Cunha-Santino, M. B.,[1] Bianchini Jr., I.,[2] Gianotti, E. P.[3] & Silva, E. L.[4]

Abstract – Anaerobic degradation of aquatic macrophytes from Infernão Lake: methanogenesis – In this study, kinetic aspects of mineralization and methane formation from anaerobic decomposition of three species of aquatic macrophytes was discussed. The plants were collected in the Infernão Lake (Jataí Ecological Station, SP; 21°33' to 21°37'S, 47°45' to 47°51'L). Decomposition chambers with plants fragments and lake water were prepared. The chambers were incubated at 22.5ºC in the darkness. Periodically, the amounts of particulate and dissolved organic matter, the rates of production of methane, pH, electrical conductivity and optical density values were determined. It was observed that mineralization of *Scirpus cubensis* and *Salvinia auriculata* presented the smallest yield (9.2% and 10.9%, respectively) when compared to *Cabomba piauhyensis* (31.68%). However, the production of methane during the degradation of *S. cubensis* corresponded to 21.1% of carbon of the detritus, followed by 15.0% to *S. auriculata* and 1.3% to *C. piauhyensis*. It is supposed that lignin and cellulose contents of the detritus and pH were the main factors that drove to these results.

Keywords: *aquatic macrophytes; anaerobic decomposition; methanogenesis; Infernão Lake.*

Resumo – Neste estudo, aspectos cinéticos da mineralização e da formação de metano foram discutidos a partir da decomposição anaeróbia de três espécies de macrófitas aquáticas. As plantas foram coletadas na Lagoa do Infernão (Estação Ecológica de Jataí, SP; 21°33' a 21°37'S, 47°45' a 47°51'L). Foram montadas câmaras de decomposição contendo fragmentos das plantas e água da lagoa. Os frascos foram incubados a 22,5ºC no escuro. Periodicamente, determinaram-se os teores de matéria orgânica consumida, as taxas de produção de metano e os valores de pH. Observou-se que a mineralização de *Scirpus cubensis* e *Salvinia auriculata* apresentou os menores rendimentos (9,2% e 10,9%, respectivamente) quando comparada com os resultados apresentados por *Cabomba piauhyensis* (31,8%). No entanto, a produção de metano durante a degradação de *S. cubensis* foi a maior, correspondendo a 21,1% do carbono

1 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. e-mail: <pmbc@iris.ufscar.br>.

2 Departamento de Hidrobiologia e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. e-mail: <irineu@power.ufscar.br>.

3 Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

4 Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. e-mail: <edsilva@power.ufscar.br>.

dos detritos, seguida de 15,0% para *S. auriculata* e 1,3% para *C. piauhyensis*. Supõe-se que os conteúdos de lignina e celulose dos detritos e o pH sejam os principais fatores que levaram a esses resultados.

Palavras-chave: *macrófitas aquáticas; decomposição anaeróbica; metanogênese; Lagoa do Infernão.*

Introdução

Nos sistemas aquáticos, as alterações temporais e espaciais de variáveis como o potencial de oxi-redução, acidez e concentração de oxigênio dissolvido determinam os tipos de microrganismos que atuam nos processos de mineralização e, conseqüentemente, nas composições das misturas gasosas produzidas. A seleção de microrganismos envolve a adoção de rotas metabólicas distintas e a geração de produtos diferentes (Zeikus, 1985; Fey & Conrad, 2000).

O processo aeróbio atua sobre uma maior variedade de matéria orgânica, gera produtos finais mais estáveis e maior quantidade de microrganismos. Sob baixas concentrações de matéria orgânica, esse processo é normalmente rápido, eficiente e possui baixo potencial de odor (Davis & Cornwell, 1991). Na ausência ou escassez de oxigênio, as degradações podem ocorrer utilizando outros compostos como aceptores de elétrons (por exemplo, NO_3^-, SO_4^{2-}); nesse caso, tais processos são definidos como respiração anaeróbia. Nos processos fermentativos, os aceptores de elétrons são os compostos orgânicos (Schlegel, 1975).

As características principais do metabolismo fermentativo são: 1) ocorre na ausência de oxigênio; geralmente esse elemento exerce um efeito inibidor sobre o processo; 2) o balanço redox intracelular é mantido nas rotas metabólicas; 3) grandes quantidades de produtos reduzidos durante o processo são lançadas no meio extracelular (por exemplo, ácidos orgânicos voláteis); 4) energeticamente, o processo é ineficiente, ou seja, grande parte da energia livre do substrato primário é retida para a formação dos produtos da fermentação (Lynch & Hobbie, 1988). Ainda em relação ao metabolismo anaeróbio, o CH_4 e o CO_2 são os dois produtos finais predominantes nesse processo; resultam da ação de vários grupos de microrganismos anaeróbios (isto é, sintrofismo). Entre os fatores controladores da produção de CH_4 em ambientes aquáticos, citam-se: 1) disponibilidade dos aceptores de elétrons; 2) quantidade e qualidade do suprimento de matéria orgânica; 3) temperatura; e 4) pH (Kiene, 1991). As interações entre esses fatores, em conjunto com as rotas metabólicas que geram os intermediários de reação, podem influenciar a produção de CH_4 (Bergman et al., 1999). No caso dos intermediários, considera-se o acetato o principal substrato para a metanogênese (Boone, 1991; Conrad, 1999).

Por causa das aduções de detritos que periodicamente ocorrem nas lagoas marginais das planícies de inundação, as ocorrências de hipóxia e anoxia são freqüentemente registradas (Antonio & Bianchini Jr., 2000; Feresin & Santos, 2000), induzindo a realização dos processos de respiração anaeróbia (Gianotti & Santos, 2000) e/ou de processos fermentativos (Ballester & Santos, 2001). Nesses ambientes, registram-se, com freqüência, grandes incidências de macrófitas aquáticas, que têm seus ciclos de vida submetidos à variação do nível da água (Penha et al., 1999). Há casos em que a época de cheia coincide com a fase de maior acúmulo de biomassa de plantas aquáticas (Silva, 1990; Silva & Esteves, 1993); na vazante, parte das plantas é exportada, porém, dependendo da intensidade da cheia, grandes quantidades de biomassa po-

dem permanecer, decompondo-se na seca. Com base no exposto, neste estudo foram discutidos aspectos cinéticos da mineralização e da formação de metano durante a decomposição anaeróbia de três espécies de macrófitas aquáticas: *Cabomba piauhyensis*, *Scirpus cubensis* e *Salvinia auriculata* da Lagoa do Infernão.

Materiais e Métodos

A Lagoa do Infernão

A Lagoa do Infernão (21°35'S e 47°51'W) possui cerca de 1 km de comprimento e profundidade máxima, na época de seca, de 4,0 m. Pertence ao sistema de lagoas marginais da bacia do Rio Mogi-Guaçu, situada na região central do Estado de São Paulo, sendo uma das 15 lagoas que recebem proteção oficial da Estação Ecológica de Jataí (21°33' a 21°37'S e 47°45' a 47° a 51'W). Une-se ao rio apenas nos períodos de cheia e apresenta, atualmente, a totalidade de sua superfície ocupada por vegetação aquática. Sua região litorânea é dominada, em geral, por macrófitas flutuantes, algumas das quais com talos estendidos descendentemente até as raízes, fixas nos sedimentos (Mozeto & Esteves, 1986).

Na zona de águas rasas encontram-se bancos de *Eichhornia azurea* e *Scirpus cubensis*. Nos pequenos espaços entre essas espécies, encontram-se flutuando, quase na superfície, *Utricularia gibba*, *Utricularia breviscapa* e *Cabomba piauhyensis*.

De modo geral, os sedimentos são constituídos por uma camada orgânica de aproximadamente 30 cm e, abaixo desta, há outra mais compacta, composta por substrato argilo-mineral (Howard-Williams et al., 1989).

Os trabalhos desenvolvidos na Lagoa do Infernão indicam que os processos ecológicos que lá ocorrem são regidos basicamente pelas condições estabelecidas pelo regime hidrológico a que esse ambiente está submetido, ou seja, pelos períodos de cheia e seca representados por flutuações do nível da água da Lagoa, em decorrência: do período de chuvas, do escoamento da precipitação, da elevação do nível do lençol freático e da invasão das águas do Rio Mogi-Guaçu (Santos & Mozeto, 1992).

Coleta de material e experimentos de degradação

Exemplares adultos das macrófitas aquáticas (*Scirpus cubensis*, *Cabomba piauhyensis* e *Salvinia auriculata*) foram coletados na Lagoa do Infernão, na mesma época (25/6/1997). Depois de adquiridos, os exemplares foram lavados com água da lagoa para a remoção do perifíton, partículas de sedimento e detritos. As coletas das amostras de água foram realizadas com garrafa de Van Dorn, em três profundidades (superfície, meio e fundo) da coluna d'água. Esse procedimento visou aumentar a representatividade das amostras de água que seriam utilizadas nos experimentos, tendo em vista que os componentes químicos presentes na coluna d'água podem estar estratificados verticalmente e a distribuição e composição da comunidade microbiana podem variar ao longo da coluna d'água.

Em laboratório, as plantas foram novamente lavadas com água corrente e, em seguida, secas sob temperatura controlada (≈ 50°C). Após a secagem, foi realizada a trituração e a homogeneização para cada tipo de planta. A amostra de água foi submetida a uma pré-filtração

(em rede de náilon com malha de 0,4 mm de diâmetro) para a remoção do material orgânico grosseiro.

Para a descrição da cinética anaeróbia de mineralização de cada espécie, foram incubadas no escuro e em temperatura controlada (22,1ºC ± 2,1ºC, temperatura média da lagoa), câmaras (n = 10) contendo 4 g em peso seco (PS) de fragmentos de plantas e 450 ml de água da Lagoa do Infernão. Com base na cinética de consumo de oxigênio descrita para esses gêneros de plantas (Bitar & Bianchini Jr., 2002) e na quantidade máxima de oxigênio dissolvido disponível em cada frasco, estimou-se que as misturas tornaram-se anaeróbias em no máximo duas horas após as adições dos fragmentos vegetais. Após as preparações, os frascos foram mantidos fechados e só foram abertos em seus respectivos dias de amostragem.

Periodicamente, nas datas previamente selecionadas (1, 3, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 90 e 120 dias), as câmaras de decomposição foram desmontadas e seus conteúdos foram fracionados em matéria orgânica particulada (MOP) e dissolvida (MOD), por pré-filtração e, em seguida, por centrifugação (1 h; 1.048 g). As amostras de MOP foram secas em estufa (45ºC) até peso constante, tendo suas massas determinadas por gravimetria. Alíquotas de MOD (250,0 ml) foram desidratadas em chapa aquecedora (≈ 50ºC) e suas massas foram determinadas por gravimetria (Wetzel & Likens, 1991). Os teores de matéria orgânica consumida (MOC) foram estimados pelas diferenças entre os conteúdos iniciais dos fragmentos de planta (MOT = material orgânica total ≈ 4,0 g PS) e os remanescentes determinados nos dias de amostragem (MOP + MOD).

Nas fases líquidas dessas câmaras também foram determinados os valores de pH (por potenciometria; pHmetro Digimed DMPH-2), condutividade elétrica (condutivímetro Digimed CD-2P) e densidade óptica a 450 nm (espectrofotômetro; Micronal B242).

Admitindo-se que as reações envolvidas na mineralização de macrófitas aquáticas sejam de primeira ordem (Bianchini Jr., 2000), propôs-se as Equações 1 a 4 para representar as cinéticas desse processo.

$$IN_1 = \frac{k_1}{k_T} MOP_{LS} \left(1 - e^{k_T t}\right) \tag{1}$$

$$IN_2 = \frac{k_2}{k_T} MOP_{LS} \left(1 + \frac{k_3}{k_T - k_3} e^{-k_T t} + \frac{k_T}{k_3 - k_{T1}} e^{-k_3 t}\right) \tag{2}$$

$$IN_3 = MOP_R \left(1 - e^{-k_4 t}\right) \tag{3}$$

$$MOC = \sum_{i=1}^{3} IN_i \tag{4}$$

em que: MOP_{LS} = matéria orgânica particulada lábil e solúvel; MOP_R = matéria orgânica particulada refratária; MOD = matéria orgânica dissolvida; MOC = matéria orgânica consumida (mineralizada); t = tempo; k_1 = coeficiente de mineralização das frações lábeis de MOP_{LS}; k_2 = coeficiente de lixiviação das frações solúveis de MOP_{LS}; k_T = coeficiente global de decaimento da MOP_{LS} ($k_1 + k_2$); k_3 = coeficiente de mineralização do MOD; k_4 = coeficiente

de mineralização da MOP_R; $IN_{1\ a\ 3}$ = compostos inorgânicos produzidos por meio das três rotas de mineralização identificadas.

De acordo com essa hipótese, admitiu-se que as mineralizações de *C. piauhyensis, S. cubensis* e *S. auriculata* ocorreram por meio de três processos simultâneos. O primeiro foi constituído por dois eventos paralelos (concorrentes): a dissolução e a mineralização dos compostos lábeis (IN_1). A segunda rota, que inclui a lixiviação, também prevê a mineralização da MOD (IN_2). O terceiro caminho considera o catabolismo das frações refratárias em compostos inorgânicos (IN_3). As variações temporais de MOP e MOD foram utilizadas para as determinações dos coeficientes do modelo. Para tanto, utilizou-se um método de regressão não linear, o algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 1993).

A produção de metano foi acompanhada em câmaras de decomposição (n = 3) incubadas a 22,5ºC e no escuro. Em cada uma, adicionou-se 16 g de fragmentos de planta (PS) e 800 ml de amostra de água da lagoa. Periodicamente, durante os 4,5 meses, as concentrações de metano foram estimadas na fase gasosa dos frascos por cromatografia gasosa (Bitar, 2003; Cunha-Santino, 2003).

Resultados e Discussão

As variações temporais da MOP, da MOD e da MOC, durante a decomposição anaeróbia de *C. piauhyensis, S. cubensis* e *S. auriculata*, são apresentadas na Figura 1. De acordo com o modelo adotado, no início, os intensos decréscimos da MOP foram relacionados, basicamente, com a ocorrência de dois eventos concorrentes: 1) as oxidações (químicas/biológicas) das frações lábeis; e 2) as dissoluções dos compostos polares presentes nas frações protoplasmáticas e dos tecidos estruturais das macrófitas. As liberações de MOD, típicas dos primeiros estágios da decomposição das macrófitas aquáticas, são de extrema importância do ponto de vista ecológico, uma vez que esses detritos subsidiam parte do carbono necessário para o metabolismo dos microrganismos da coluna d'água e dos aderidos nas partículas de detritos (Moran & Hodson, 1989; Farjalla et al., 2002).

Independentemente da espécie de macrófita aquática em questão, as perdas de massa da MOP apresentaram duas fases: uma rápida (até aproximadamente o 3º dia), seguida de um processo mais lento (até o 120º dia). Esse padrão temporal de perda de massa confirma a presença de pelo menos dois tipos de estruturas; dessa forma, os detritos foram diferenciados de acordo com seu potencial de degradação; nesse caso, apresentando uma fração lábil e outra refratária (Campos Jr., 1998; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2000; Asaeda et al., 2000). Por esse motivo, a adoção do modelo exponencial duplo na descrição do processo de decomposição (Equações 1 a 4) considerou a heterogeneidade do substrato, isto é, admitiu distinções relativas à composição química do detrito. Das integrações das taxas diárias de perda de massa, foi possível determinar que os processos rápidos (isto é, lixiviação + oxidação dos compostos lábeis) envolveram 26,35% ± 5,88% (*C. piauhyensis*), 12,05% ± 1,65% (*S. cubensis*) e 13,12% ± 3,66% (*S. auriculata*) dos detritos das macrófitas. De maneira geral, essas quantidades (MOP_{LS}) relacionam-se inversamente com a quantidade inicial de compostos lignocelulósicos dos detritos (MOP_R). As quantidades da MOP_R para os detritos dessas espécies de macrófitas foram 73,45% ± 2,82%, 87,76% ± 0,97% e 87,53% ± 1,56%, respectivamente. Verificou-se que as perdas de massa dessas frações refratárias ocorreram sob baixas taxas de oxidação: $t_{1/2}$: 256 e 1730 dias, respectivamente (Tabela 1).

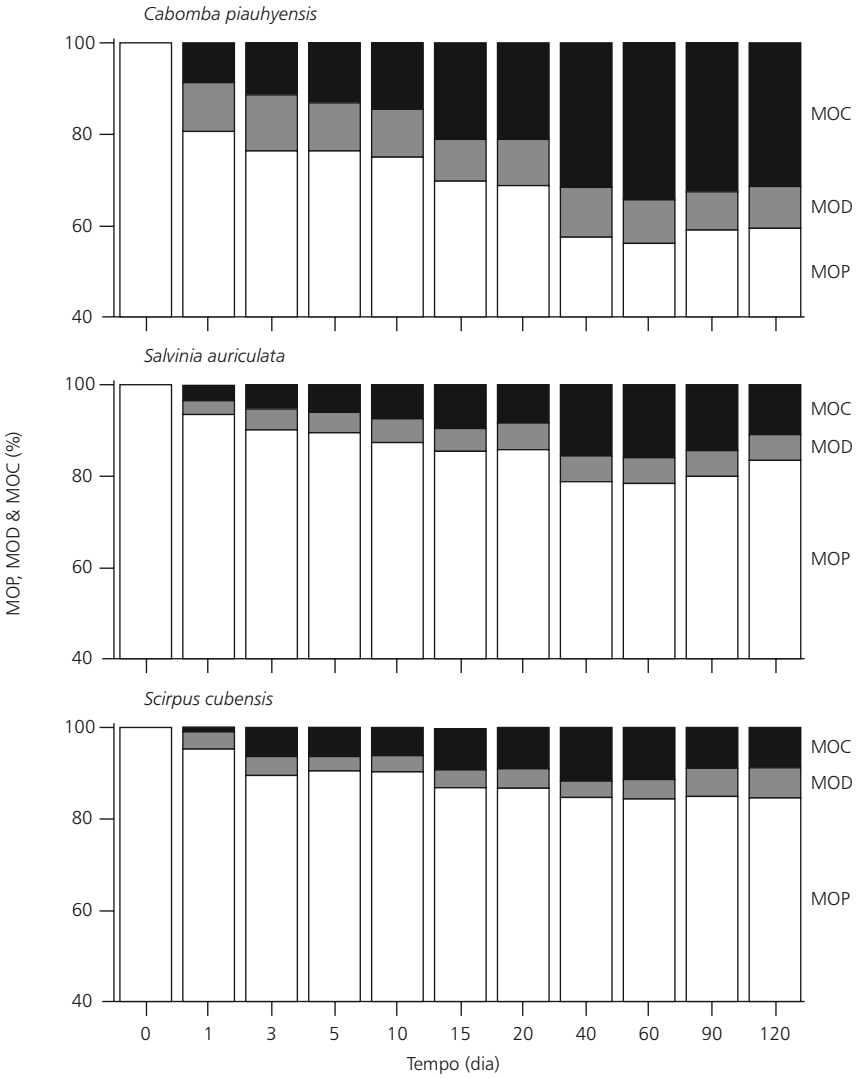

Figura 1 Variações temporais da MOP, MOD e MOC na degradação anaeróbia de *Cabomba piauhyensis*, *Salvinia auriculata* e *Scirpus cubensis*.

De acordo com os ajustes cinéticos das variações temporais da MOP, constatou-se que os coeficientes globais de decaimento da MOP_L (lixiviação/ mineralização, k_T) foram elevados, variaram de 0,465 ± 0,161 (*S. cubensis*) a 1,17 ± 0,72 dia^{-1} (*C. piauhyensis*; Tabela 1), o que corresponde a tempos de meia-vida ($t_{1/2}$) de 4 h a 1,5 dias. Nos experimentos de decomposição de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*: Lima, 1999; *Eichhornia azurea*: Pagioro & Thomaz, 1999; *Eleocharis interstincta*, *Potamogeton stenostachys* e *Nymphea ampla*: Brum & Esteves, 2001; *Eichhornia azurea*: Tartaglia, 2001; *Eichhornia azurea* e *Egeria najas*: Bitar, 2003; *U. breviscapa*: Cunha-Santino, 2003), nos quais foram utilizados *litter bags* ou incubações em condições controladas, foi possível estimar valores de $k_T = 1{,}5\ dia^{-1}$.

Tabela 1 Parâmetros do modelo de decomposição de *C. piauhyensis*, *S. cubensis* e *S. auriculata*; os valores entre parênteses referem-se ao erro do parâmetro.

Parâmetro	***C. piauhyensis***		***S. cubensis***		***S. auriculata***	
k_T* (dia^{-1})	1,17	(0,72)	0,465	(0,161)	1,05	(0,25)
k_3 (dia^{-1})	0,0025	(0,0011)	0	0	0	0
k_4 (dia^{-1})	0,0027	(0,0008)	0,0004	(0,0002)	0,0009	(0,0003)
IN_1 (%)	15,26	(1,46)	7,65	(0,59)	7,33	(0,94)
IN_2 (%)	11,29	(0,61)	4,59	(0,36)	5,14	(0,42)
IN_3 (%)	73,45	(2,82)	87,76	(0,97)	87,53	(1,56)
r^2	0,85		0,80	0,80	0,69	0,69

(*) $k_T = k_1 + k_2$

Esses valores foram mais elevados que os registrados neste estudo. De acordo com Bianchini Jr. (1999), tem-se verificado que os coeficientes de perda de massa das frações lábeis/solúveis (k_T) são relativamente elevados e apresentam grande variação: de 0,01 a 3,33 dia^{-1}, o que corresponde a tempos de meia-vida de 0,2 a 70 dias. O autor atribuiu a variabilidade dos valores de k_T às: 1) diferenças de composição química dos vários tipos de detritos; 2) várias condições ambientais impostas aos processos de decomposição; 3) limitações metodológicas intrínsecas (por exemplo, escassez de amostragens nos estágios iniciais da decomposição e tamanho da malha dos *litter bags*). Contudo, do ponto de vista da ciclagem de elementos das lagoas marginais, esses coeficientes indicam que a dissolução e a oxidação de compostos lábeis são processos rápidos, que disponibilizam facilmente energia para a microbiota e/ou podem subsidiar formação de compostos húmicos. Nesse contexto, num estudo de humificação no qual *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis* foram utilizadas, verificou-se que, em média, os compostos húmicos provenientes das frações dissolvidas contribuíram com 7,7% (*C. piauhyensis*) a 30,6% (*S. cubensis*) para o conjunto dos compostos húmicos formados. Mostrou, também, que, entre os compostos húmicos formados, os ácidos fúvicos foram os principais produtos gerados da MOD lixiviada (Cunha & Bianchini Jr., 2001).

Em decorrência das perdas de massa da MOP_{LS}, observaram-se os incrementos das concentrações de MOD (provenientes da lixiviação) e que, dependendo da predominância dos processos que atuam sobre tais compostos, suas concentrações podem se alterar ao longo da decomposição (Figura 1). Nesse caso, as assimilações biológicas (anabolismo/incorporação em biomassa dos microrganismos heterotróficos), oxidações químicas e mineralização (respiração) colaboram para os decréscimos das concentrações; por outro lado, a humificação e as reações (químicas e biológicas) que levam à produção de substâncias mais refratárias favorecem a manutenção e o acúmulo de MOD. Nesse contexto, observou-se que, nos primeiros cinco dias, 11,29% ± 0,61% da MOT da *C. piauhyensis*, 4,59% ± 0,36% da *S. cubensis* e 5,14% ± 0,42% da *S. auriculata* foram convertidas em MOD. De modo geral, tem-se verificado que, após a fase de predomínio do aparecimento do lixiviado, é usual o registro de tendência de redução das concentrações de MOD e dos compostos inorgânicos dissolvidos (Cunha & Bianchini Jr., 1998; Bianchini Jr. et al., 2002). O coeficiente de mineralização (k_3) estimado dos decréscimos das concentrações da MOD dos frascos contendo *C. piauhyensis* foi 0,0025 ± 0,0011 dia^{-1}. Nos frascos contendo *S. cubensis* e *S. auriculata* não foram observados decréscimos das concentrações de MOD ($k_3 = 0$ dia^{-1}). Nas decomposições anaeróbias de lixiviados

de macrófitas aquáticas (Bianchini Jr. et al., 2002; Tartaglia, 2001; Bitar, 2003; Cunha-Santino, 2003), foram registrados os seguintes valores para os coeficientes de mineralização da MOD (k_3): 0,0040 dia^{-1}; $t_{1/2}$ = 172 dias (*Montrichardia arborescens*); 0,0037 (26,8ºC) a 0,0052 (18,2ºC) dia^{-1}; $t_{1/2}$ = 133 a 187 dias; e 0,0008 (20,0ºC) a 0,0033 (15ºC) dia^{-1}; $t_{1/2}$ = 209 a 865 dias (*Eichhornia azurea*); e 0,0025 (20,3ºC) a 0,0133 (27,0º) dia^{-1}; $t_{1/2}$ = 52 a 277 dias (*Egeria najas*); 0,0075 (15,3ºC) a 0,0190 (30,3ºC) dia^{-1}; $t_{1/2}$ = 36 a 92 dias (*Utricularia breviscapa*). Contudo, em experimentos de decomposição anaeróbia com *Salvinia auriculata*, *Eichhornia azurea* e *Egeria najas* (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2000; Tartaglia, 2001; Bitar, 2003), não foram observadas perdas de massa do material lixiviado (k_3 = 0 dia^{-1}); os autores atribuíram essa ocorrência à natureza refratária da MOD (por exemplo, formação de compostos húmicos) ou à presença de compostos alelopáticos.

Ao comparar os parâmetros k_3 (coeficiente de mineralização da MOD) e k_4 (coeficiente de mineralização da MOP_R) deste estudo com os registrados nos processos aeróbios de mineralização dessas macrófitas aquáticas (Cunha & Bianchini Jr., 1998; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2000), verificou-se que os processos aeróbios foram quase sempre mais rápidos. Na mineralização de *C. piauhyensis,* os parâmetros k_3 e k_4 foram, respectivamente, 78 e 2,3 vezes mais elevados. Na degradação aeróbia de *S. cubensis,* o valor de k_3 foi 0,37 dia^{-1} (no processo anaeróbio foi 0,0 dia^{-1}; Tabela 1) e o valor de k_4 foi 7,6 vezes mais elevado. Tanto na degradação aeróbia quanto na anaeróbia de *S. auriculata* não foram registrados decréscimos nas concentrações de MOD (k_3 = 0,0 dia^{-1}); no entanto, no processo aeróbio, o coeficiente de oxidação das frações refratárias (k_4) foi 1,9 vez maior que o verificado neste estudo. Além de os processos aeróbios de degradação gerarem produtos distintos, as comparações dos parâmetros k_3 e k_4 evidenciam, para a Lagoa do Infernão, a importância da disponibilidade de oxigênio sobre o armazenamento de matéria orgânica e colmatação dos sedimentos. Nesse contexto, incubações realizadas com detritos dessas espécies na Lagoa do Infernão (Campos Jr., 1998) registraram valores de k_4 (coeficiente de oxidação da MOP_R) sempre mais elevados (*C. piauhyensis*: ≈ 3,7 vezes; *S. cubensis* ≈ 7,5 vezes; e *S. auriculata* ≈ 3,3 vezes) que os verificados neste estudo (Tabela 1).

À medida que ocorreram as mineralizações das frações MOP e MOD, os valores de matéria orgânica consumida (MOC) foram sendo incrementados (Figura 1). Nesses casos, a MOC representa a evolução do processo global de mineralização anaeróbia. Verifica-se que houve, para os três tipos de detritos, intensas perdas de massa nos primeiros 40 dias. Em seguida, os valores de MOC praticamente estabilizaram-se. Ao término do experimento (120 dias), 31,8% da biomassa de *C. piauhyensis*, 10,9% de *S. auriculata* e 9,2% de *S. cubensis* adicionadas nos frascos foram mineralizadas. Observou-se que o início da atividade metanogênica ocorreu no 17º dia nos frascos com *S. auriculata* e no 24º dia nas câmaras com *S. cubensis.* Estudos de degradação anaeróbia de material vegetal e de solos detectaram o aparecimento de metano logo no início das incubações (por exemplo, 1º dia: culturas enriquecidas com celulose; Wu & Conrad, 2001; 2º dia: solos anóxicos; Fey & Conrad, 2000; 3º dia: *Egeria najas*; Bitar, 2003) ou a partir, aproximadamente, da 2ª semana (por exemplo, 16º dia: *Eichhornia azurea*; Bitar, 2003; 21º dia: *Utricularia breviscap*a; Cunha-Santino, 2003; 28º dia: solos enriquecidos com glicose ou alanina; Inubushi et al., 1997; 37º dia: *Cyperus papyrus*; Romeiro, 2003; e 40º dia: folhedo; Kusel & Drake, 1999). Por se tratar de incubações do tipo batelada, supõe-se que: 1) no início do experimento os processos hidrolíticos foram predominantes; e 2) os tempos necessários para as ocorrências de formação de metano tenham decorrido do estabelecimento

das condições indispensáveis para o desenvolvimento e a manutenção das arqueas. Nesse contexto, o tempo necessário para o aparecimento do CH_4 provavelmente esteve relacionado com o estabelecimento dos seguintes eventos: 1) exaustão de outros aceptores de elétrons, como nitrato e sulfato (Kiene, 1991); 2) instalação de pH favorável (Duval & Goodwin, 2000); 3) concentrações adequadas de compostos de baixo peso molecular (por exemplo: acetato, propionato); e 4) condição apropriada de oxi-redução para a ocorrência da metanogênese.

Com base nos resultados apresentados na Figura 2, verifica-se que na mineralização de *S. cubensis* e *S. auriculata* as taxas de formação de metano foram evidentes no período compreendido entre o 17º e o 50º dia. Após essa fase, as taxas tenderam a zero. No entanto, para *S. cubensis*, as oscilações subseqüentes das taxas definiram mais dois picos de valores positivos (entre os dias: 70 e 80 e 110 e 140), enquanto para *S. auriculata* as oscilações ocorreram principalmente sob valores negativos (predomínio dos processos de oxidação do CH_4). A metanogênese a partir da degradação de *C. piauhyensis* apresentou as taxas mais baixas, sempre próximas de zero; nesse caso, as taxas somente apresentaram valores um pouco mais elevados no período compreendido entre os dias 70 e 90.

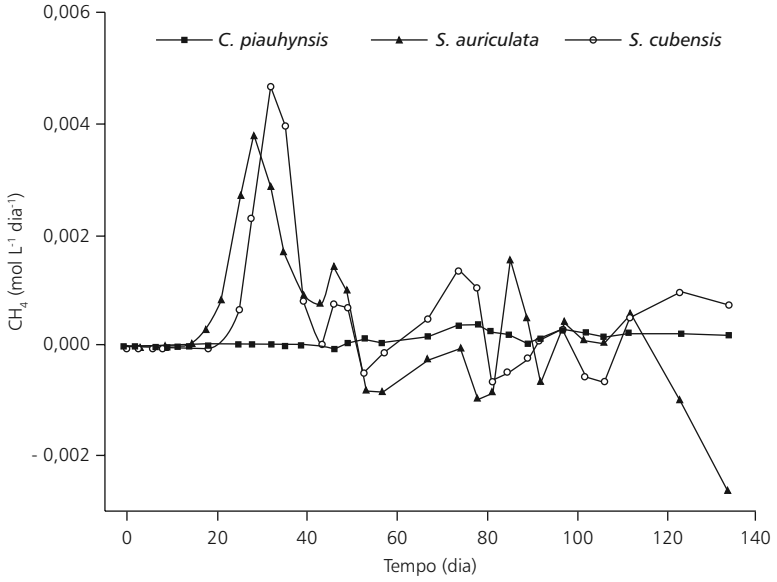

Figura 2 Taxas de formação de metano na degradação anaeróbia de *Cabomba piauhyensis*, *Salvinia auriculata* e *Scirpus cubensis*.

Em relação às rotas de mineralização propostas pelo modelo cinético (Equações 1 a 4), supõe-se que a metanogênese estaria sendo suprida principalmente pela mineralização da MOP_R, já que, no caso da decomposição da *S. cubensis* e da *S. auriculata*, os coeficientes de mineralização da MOD foram iguais a zero, o que contribuiu para o descarte da possibilidade da formação do metano desde tais frações dissolvidas. A hipótese da metanogênese pela mineralização das frações particuladas lábeis (MOP_L) também pode ser descartada, pois, por apresentar k_T elevados ($t_{1/2}$) de 4 h a 1,5 dias, essa rota não estaria subsidiando a formação desse gás (início a partir do 20º dia). Nesse contexto, em experimentos em que a metanogênese foi descrita durante a degradação de duas espécies de macrófitas aquáticas (*Eichhornia*

azurea e *Egeria najas*), discutiu-se que preferencialmente o metano estaria sendo gerado pela mineralização das frações particuladas refratárias (MOP_R); Bitar (2003). Ensaios realizados por Cunha-Santino (2003) sugeriram que as possíveis rotas metabólicas que subsidiaram as produções de metano na decomposição anaeróbia de *Utricularia breviscapa* constituíram-se nas mineralizações das frações dissolvidas e das refratárias particuladas (resíduos lignocelulósicos). Estudo da formação de gases biogênicos na Lagoa do Infernão indicou que nesse ambiente as formações de CO_2 e CH_4 foram favorecidas no verão e na primavera (Ballester, 1994). De acordo com Ballester & Santos (2001), as lagoas marginais são fontes potenciais de gases para a atmosfera, por gerarem significativas contribuições de CO_2 e CH_4 decorrentes da mineralização do carbono (por exemplo, macrófitas aquáticas e materiais orgânicos alóctones).

As variações temporais dos valores da densidade óptica, da condutividade elétrica da água e do pH são apresentadas na Figura 3. De maneira geral, os valores de densidade óptica (DO) tenderam ao incremento durante todo o período de observação. Na degradação da *C. piauhyensis,* os valores de densidade óptica aumentaram até aproximadamente o 10º dia, depois tenderam ao decréscimo até o 20º dia, incrementaram-se novamente até o 90º dia e, em seguida, estabilizaram-se. Os valores de DO dos frascos contendo *C. piauhyensis* foram mais elevados que os dos frascos que continham detritos de *S. auriculata* e *S. cubensis*. Os menores valores de DO foram registrados nos frascos com detritos de *S. auriculata*. As variações temporais dos valores de DO podem ser atribuídas: 1) às solubilizações dos materiais pigmentados dos tecidos vegetais (por exemplo, carotenóides, clorofilas, antocianinas); e 2) à formação de substâncias húmicas. Os incrementos observados, principalmente no início do processo de decomposição, referem-se, provavelmente, aos compostos coloridos liberados durante o processo de lixiviação, e, à medida que o tempo progrediu, os valores de DO foram sendo incrementados e mantidos pela formação e ressíntese das substâncias húmicas (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2004). Essas substâncias apresentam alta massa molecular e coloração escura; dessa forma, os processos de degradação da MOD produzem alterações na coloração da água. Entre as propriedades atribuídas a esses compostos coloridos, citam-se: 1) atenuação da luz na coluna d'água (efeito de sombreamento), interferindo negativamente na produtividade primária do sistema; 2) influência favorável no crescimento de algas e bacterioplâncton; 3) capacidade de tornar complexos os íons metálicos; e 4) controle da disponibilidade de cátions na coluna d'água, podendo interferir nos valores de condutividade elétrica do sistema (Frimmel & Christman, 1988).

As variações temporais da condutividade elétrica (CE) foram similares em todas as incubações (Figura 3). No início, foram observados elevados incrementos; verificou-se que, no primeiro dia de experimento, o valor 0,02 mS cm^{-1} (referente às alíquotas de água da lagoa) aumentou até 0,63 (*S. cubensis*), 1,13 (*S. auriculata*) e 1,63 mS cm^{-1} (*C. piauhyensis*). Os processos que levaram aos incrementos dos valores de CE predominaram até o 20º dia (valor máximo: 1,79, *C. piauhyensis*; 0,97, *S. cubensis;* e 1,74, *S. auriculata* mS cm^{-1}). Em seguida, os valores tenderam à estabilização e ao decréscimo. As câmaras contendo detritos de *C. piauhyensis* e *S. auriculata* foram as que apresentaram os valores mais elevados. Em experimento de decomposição anaeróbia de *Eichhornia azurea* e *Egeria najas*, foram registrados aumentos dos valores de CE até o 30º dia de experimento (Bitar, 2003); basicamente, esses aumentos foram atribuídos à mineralização das frações lábeis dos detritos. Outros estudos de decomposição anaeróbia em que os detritos de *Salvinia auriculata* foram utilizados também registraram incrementos da CE no primeiro mês de experimento (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2000). Os incre-

mentos nos valores de condutividade elétrica observados nas fases iniciais das degradações estão relacionados com: 1) a presença de CO_2 e outros elementos inorgânicos gerados nas oxidações (químicas e biológicas); e 2) a dissolução de compostos minerais (íons) decorrentes da lixiviação (por exemplo, carbonato de cálcio, oxalato de cálcio; Camargo et al., 1983). Os decréscimos nos valores de CE foram atribuídos ao predomínio da assimilação microbiológica dos elementos, e as estabilizações (verificadas a partir do 90º dia) provavelmente foram resultantes do equilíbrio entre os processos de liberação e assimilação biológica de íons pela comunidade heterotrófica.

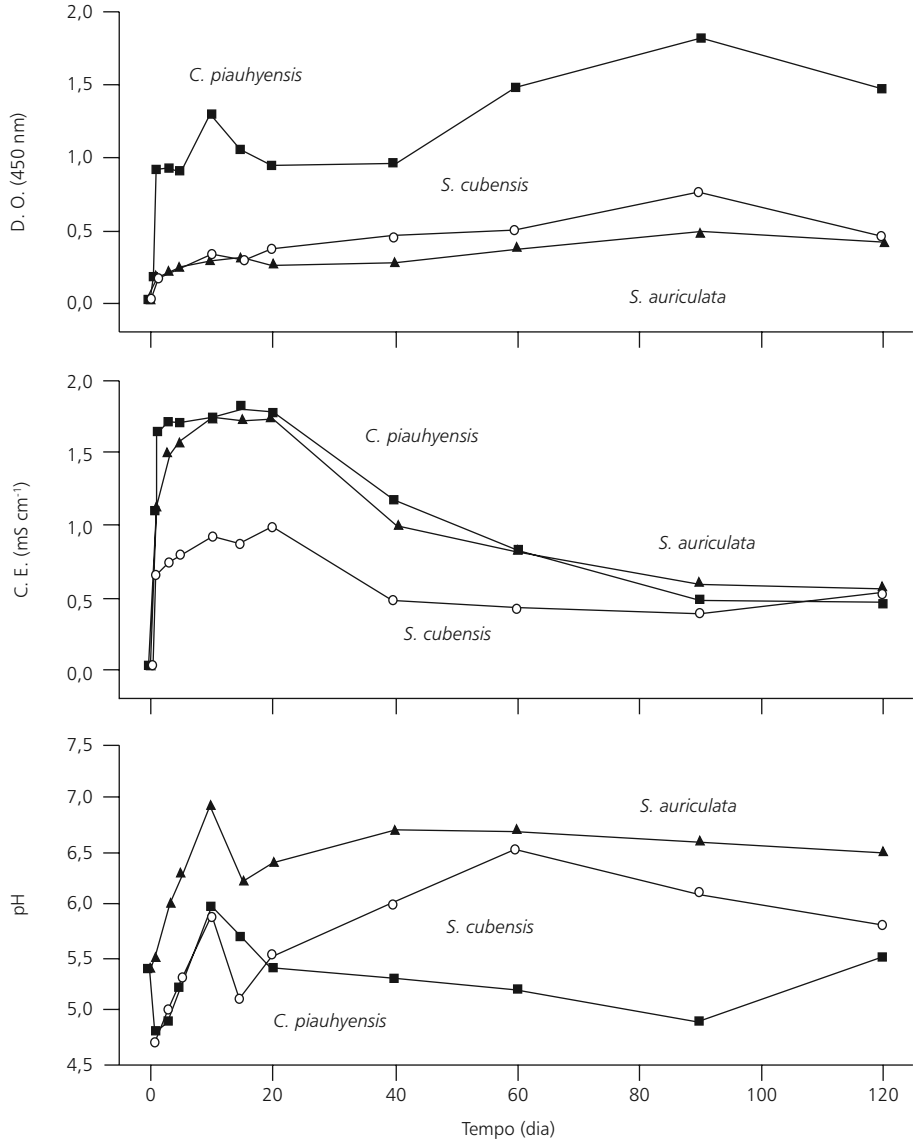

Figura 3 Variações temporais da densidade óptica, da condutividade elétrica e do pH na degradação anaeróbia de *Cabomba piauhyensis*, *Salvinia auriculata* e *Scirpus cubensis*.

O valor inicial do pH das amostras de água da Lagoa do Infernão foi 5,4; nas câmaras contendo detritos de *C. piauhyensis,* os valores oscilaram entre 4,8 e 6,0; para as câmaras com *S. cubensis,* essas variações foram de 4,7 a 6,5, e, para as com *S. auriculata,* o pH oscilou entre 5,4 e 6,9 (Figura 3). Verificou-se que o pH, no início do experimento, tendeu a decrescer nas incubações que continham detritos de *C. piauhyensis*, nas quais os processos de mineralização foram mais intensos; em seguida, até o 10º dia, os valores aumentaram continuamente até seis e, após este período, tenderam novamente a decrescer. Em comparação com as demais, essas incubações constituíram-se como os meios mais ácidos. Os valores de pH nas incubações com *S. cubensis* oscilaram do início até o 20º dia; em seguida, tenderam ao incremento até o 60º dia, época em que se registrou o valor máximo (6,5). Depois, até o final do experimento, os valores de pH decresceram continuamente até 5,8. Na mineralização de *S. auriculata*, o pH aumentou continuamente até o 10º dia, quando se registrou seu valor máximo (6,9); em seguida, os valores oscilaram com tendência ao decréscimo. No final do experimento, o pH nesse processo encontrava-se com o valor de 6,5. Em geral, em experimentos dessa natureza, os decréscimos dos valores de pH são atribuídos aos seguintes eventos: 1) liberação de compostos orgânicos reduzidos, ou seja, dissociação de íons H^+ do material dissolvido, proveniente do processo de lixiviação (por exemplo, ácidos orgânicos); 2) dissociação do ácido carbônico (formado do CO_2 liberado dos processos de oxidação) em H^+ e íon bicarbonato; e 3) formações dos ácidos voláteis, intermediários metabólicos dos processos de fermentação (por exemplo, ácido acético). Por outro lado, os incrementos nos valores de pH têm sido relacionados com: 1) a assimilação e/ou transformação dos compostos reduzidos; e 2) a formação de sistema tampão a partir da formação dos carbonatos e/ou dos compostos húmicos (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2004).

Comparando as taxas de formação de metano com os valores de matéria orgânica consumida e com o pH, verificou-se que, embora tenha ocorrido mineralização mais intensa sobre os detritos de *C. piauhyensis*, na degradação desse recurso a fermentação metanogênica foi preterida, provavelmente, por causa da predominância das condições ácidas mantidas nesse processo. Nas degradações dos demais recursos, provavelmente por causa do estabelecimento de condições mais alcalinas, verificou-se que as rotas metabólicas que incluíam a formação de metano foram contempladas. Nesse contexto, 21,1% do carbono mineralizado de *S. cubensis* foi transformado em metano; para *S. auriculata,* esse valor correspondeu a 15,0%; para *C. piauhyensis,* a 1,3%. De modo geral, supõe-se que as velocidades e os rendimentos dos processos de mineralização estejam relacionados com os teores de compostos lábeis e refratários (lignina e celulose) dos detritos, enquanto a metanogênese estaria, basicamente, condicionada: 1) ao estabelecimento das condições reduzidas; 2) à manutenção do meio neutro; e 3) à geração de produtos intermediários específicos. Diante da especificidade de fatores que levam à formação de metano e, principalmente, pela necessidade de manutenção de tais condições, supõe-se que, na Lagoa do Infernão, os processos fermentativos sejam somente predominantes nas camadas mais profundas do sedimento.

De modo geral, com base nos procedimentos experimentais adotados, verificou-se que os processos de mineralização anaeróbia dessas macrófitas aquáticas foram constituídos por duas etapas: uma rápida (correspondente à mineralização da matéria orgânica lábil MOP_L) e outra relativamente lenta, decorrente da mineralização da MOD e da MOP_R. Os parâmetros cinéticos indicaram que a metanogênese foi preferencialmente subsidiada pela degradação

das frações refratárias dos detritos (MOP_R). Supõe-se, dessa forma, que, na Lagoa do Infernão, a colmatação dos detritos refratários de macrófitas aquáticas, aliada aos elevados teores de matéria orgânica (30,88%; Antonio et al., 2002) e às condições redutoras dos sedimentos (Eh: -100 a -400 mV; Freitas-Lima & Godinho, 2000), constitui-se como uma fonte importante de formação e de emissão de metano, principalmente nos meses mais quentes (verão e primavera; Ballester, 1994).

Referências Bibliográficas

Antonio, R. M.; Bianchini Jr., I. Fatores ambientais e formação de gases dos sedimentos da lagoa do Infernão. In: Santos J. E.; Pires, J. S. R. (Eds.). *Estudos Integrados em Ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí*. v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 695-706.

Antonio, R. M.; Bianchini Jr., I.; Cunha-Santino, M. B. Teste de método manométrico para a estimativa da mineralização anaeróbia em sedimentos de um ecossistema aquático. *Acta Limnol. Brasil*, v. 14, n. 2, pp. 59-64, 2002.

Asaeda, T.; Trung, V. K.; Manatunge, J. Modeling the effects of macrophyte growth and decomposition on the nutrient budget in shallow lakes. *Aquat. Bot.*, v. 68, pp. 217-237, 2000.

Ballester, M. V. R. *Dinâmica de gases biogênicos (CH_4, O_2 e CO_2) em ecossistemas aquáticos da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, São Paulo).* 1994. 172 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Ballester, M. V. R.; Santos, J. E. Biogenic gases (CH_4, CO_2 and O_2) distribution in a riverine wetland system. *Oecologia Brasiliensis*, v. IX, pp. 21-31, 2001.

Bergman, I.; Lundberg, P.; Nilsson, M. Microbial carbon mineralization in an acid surface peat: effects of environmental factors in laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.*, v. 31, pp. 1867-1877, 1999.

Bianchini Jr., I. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. In: Pompêo, M. L. M. (Ed.). *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999. pp. 21-43.

Bianchini Jr., I. Decomposição de macrófitas aquáticas da lagoa do Infernão: o estado da arte. In: Santos, J. E.; Pires, J. S. R. (Ed.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí.* v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 613-629.

Bianchini Jr., I.; Pacobahyba, L. D.; Cunha-Santino, M. B. Aerobic and anaerobic decomposition of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott. *Acta Limnol. Brasil*, v. 14, n. 3, pp. 27-34, 2002.

Bitar, A. L. *Mineralização e formação de gases da degradação de Eichhornia azurea Kunth e Egeria najas Planch.* 2003. 119 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Bitar, A. L.; Bianchini Jr., I. Mineralization assays of some organic resources of aquatic systems. *Brazil. J. Biol.*, v. 62, pp. 557-564, 2002.

Boone, D. R. Ecology of methanogens. In: Rogers, J. E.; Whitman, W. B. (Ed.). *Microbial production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides, and halomethanes*. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1991. pp. 39-51.

Brum, P. R.; Esteves, F. A. Changes in abundance and biomass of the attached bacterial community throughout the decomposition of three species of aquatic macrophyte. *Oecologia Brasiliensis*, v. IX, pp. 77-95, 2001.

Camargo, A. F. M.; Ishii, I. H.; Esteves, F. A. Liberação de compostos orgânicos e inorgânicos para a coluna d'água durante o processo de decomposição de duas espécies de macrófitas aquáticas tropicais. *Anais III Sem. Reg. Ecol.*, pp. 87-99, 1983.

Campos Jr., J. J. F. *Contribuição ao estudo da decomposição de macrófitas aquáticas da lagoa Infernão*: processo anaeróbio. 1998. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Conrad, R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediment. *FEMS Microbiol. Ecol.*, v. 28, pp. 193-202, 1999.

Cunha, M. B.; Bianchini Jr., I. Mineralização aeróbia de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. *Acta Limnol. Brasil*, v. 10, n. 1, pp. 81-91, 1998.

Cunha, M. B.; Bianchini Jr., I. Formação de compostos húmicos a partir da degradação de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis*. *Acta Limnol. Brasil*, v. 13, n. 2, pp. 35-43, 2001.

Cunha-Santino, M. B. *Atividade enzimática, cinética e modelagem matemática da decomposição de Utricularia breviscapa da lagoa do Óleo (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP)*. 2003. 140 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Cunha-Santino, M. B.; Bianchini Jr., I. Decomposição aeróbia e anaeróbia de *Salvinia auriculata* da lagoa do Infernão. In: Santos, J. E.; Pires, J. S. R. (Ed.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí.* v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 631-643.

Cunha-Santino, M. B.; Bianchini Jr., I. Humic substances mineralization: the variation of pH, electrical conductivity and optical density. *Acta Limnol. Brasil,* v. 16, n. 1, pp. 63-75, 2004.

Davis, M. L.; Cornwell, D. A. *Introduction to environmental engineering.* New York: McGraw-Hill, 1991. 822 p.

Duval, B.; Goodwin, S. Methane production and release from two New England peatlands. *Int. Microbiol.*, v. 3, pp. 89-95, 2000.

Farjalla, V. F.; Esteves, F. A.; Faria, B. M. The relationship between DOC and planktonic bacteria in tropical coastal lagoons. *Archiv fur Hydrobiologie*, v. 156, n. 1, pp. 97-119, 2002.

Feresisn, E. G.; Santos, J. E. Nitrification in a oxbow lake in tropical floodplain river system. In: Santos J. E.; Pires, J. S. R. (Eds.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí*. v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 655-666.

Fey, A.; Conrad, R. Effect of temperature on carbon and electron flow and on the archaeal community in methanogenic rice field soil. *Applied Environ. Microbiol.*, v. 66, n. 11, pp. 4790-4797, 2000.

Freitas-Lima, E. A. C.; Godinho, M. J. L. Bactérias do sedimento de uma lagoa marginal na Estação Ecológica de Jataí. In: Santos, J. E.; Pires, J. S. R. (Eds.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí.* v. 2. São Carlos, Rima, 2000. pp. 497-508.

Frimmel, F. H.; Christman, R. F. *Humic substances and their role in the environment.* Chichester: Wiley-Interscience, 1988. 285 p.

Gianotti, E. P.; Santos, J. E. Estimativas das taxas de desnitrificação e da densidade de bactérias desnitrificantes na Lagoa do Infernão (Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP). In: Santos, J. E.; Pires, J. S. R. (Eds.). *Estudos integrados em ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí.* v. 2. São Carlos: Rima, 2000. pp. 667-683.

Howard-Williams, C.; Esteves, F. A.; Santos, J. E.; Downes, M. T. Short term nitrogen dynamics in a small Brasilian wetland (Lago Infernão, São Paulo). *J. Trop. Ecol.*, v. 5, pp. 323-335, 1989.

Inubushi, K.; Hori, K.; Matsumoto, S.; Wada, H. Anaerobic decomposition of organic carbon in paddy soil in relation to methane emission to the atmosphere. *Water Sci. Technol.*, v. 36, n. 6-7, pp. 523-530, 1997.

Kiene, R. P. Production and consumption of methane in aquatic systems. In: Rogers, J. E.; Whitman, W. B. (Ed.). *Microbial production and consumption of greenhouse gases*: methane, nitrogen oxides, and halomethanes. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1991. pp. 111-146.

Kusel, K.; Drake, H. L. Microbial turnover of low molecular weight organic acids during leaf litter decomposition. *Soil Sci. Biochem.*, v. 31, pp. 107-118, 1999.

Lima, N. *Estudo da colonização pelos invertebrados durante o processo de decomposição de Eichhornia azurea Kunth e Eichhornia crassipes Solms na represa de Jurumirim (zona de desembocadura dos rios Paranapanema e Guareí - SP).* 1999. 89 p. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Instituto de Biociências, Unesp, Botucatu.

Lynch, J. M.; Hobbie, J. E. *Microorganisms in action*: concepts and applications in microbial ecology. Oxford: Blackwell Scientific Publishers, 1988. 363 p.

Moran, M. A.; Hodson, R. E. Formation and Bacterial utilization of dissolved organic carbon derived from detrital lignocellulose. *Limnol. Oceanogr.*, v. 34, n. 6, pp. 1034-1047, 1989.

Mozeto, A. A.; Esteves, F. A. Ecologia de lagoas marginais. *Ciênc. Hoje*, v. 5, 73 p., 1986.

Pagioro, T. A.; Thomaz, S. M. Decomposition of *Eichhornia azurea* from limnologically different environments of the Upper Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, v. 411, pp. 45-51, 1999.

Penha, J. M. F.; Silva, C. J. da; Bianchini Jr., I. Productivity of the aquatic macrophyte *Pontederia lanceolata* Nutt. (Pontederiaceae) on floodplains of the Pantanal Mato-grossense, Brazil. *Wetlands Ecol. Manage.* v. 7, pp. 155-163, 1999.

Press, W. H.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T.; Flannery, B. P. *Numerical recipes in C*: the art of scientific computing. New York: Cambridge University Press, 1993. 994 p.

Romeiro, F. *Efeito da qualidade do detrito na decomposição anaeróbia de Cyperus papyrus* L. 2003. 39 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Santos, J. E.; Mozeto, A. A. Programa de análise de ecossistemas e monitoramento ambiental: Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP). 1992. 59 p. (Relatório Técnico) – *Ecologia de áreas alagáveis da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu - Projeto Jataí*. PPG-ERN, UFSCar, São Carlos.

Schlegel, H. G. *Microbiologia general*. Barcelona: Omega, 1975. 448 p.

Silva, C. J. *Influência da variação do nível d'água sobre a estrutura e funcionamento de uma área alagável do Pantanal Matogrossense (pantanal de Barão de Melgaço, Município de Santo Antônio de Leverger e Barão de Melgaço - MT).* 1990. 250 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Silva, C. J.; Esteves, F. A. Biomass of three macrophytes in the Pantanal of the Mato Grosso, Brazil. *Int. J. Ecol. Env. Sci*., v. 19, pp. 11-23, 1993.

Tartaglia, D. *O efeito da temperatura na degradação de Eichhornia azurea.* 2001. 41 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Wetzel, R. G.; Likens, G. E. *Limnological analyses.* New York: Springer-Verlag, 1991. 391 p.

Wu, X. L.; Conrad, R. Functional and structural response of a cellulose-degrading methanogenic microbial community to multiple aeration stress at two different temperatures. *Environ. Microbiol.*, v. 3, n. 6, pp. 355-362, 2001.

Zeikus, J. G. Biology of spore-forming anaerobes. In: Demain, A. L.; Solomon, N. A. (Eds.). *Biology of industrial microorganisms.* Boston: Butterworths, 1985. pp. 79-114.