

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS

DECOMPOSIÇÃO DE *Staurastrum iversenii* NYGAARD var.  
*americanum*: EFEITOS DA QUALIDADE DO RECURSO, DA  
DISPONIBILIDADE DE OXIGÊNIO E DA TEMPERATURA

LUCILIA DIAS PACOBAHYBA

São Carlos - SP

2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS

DECOMPOSIÇÃO DE *Staurastrum iversenii* NYGAARD var.  
*americanum*: EFEITOS DA QUALIDADE DO RECURSO, DA  
DISPONIBILIDADE DE OXIGÊNIO E DA TEMPERATURA

LUCILIA DIAS PACOBAHYBA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

São Carlos - SP  
2002

P121ds Pacobahyba, Lucilia Dias.  
Decomposição de *Staurastrum iversenii* Nygaard var *americanum*: efeitos da qualidade do recurso, da disponibilidade de oxigênio e da temperatura / Lucilia Dias Pacobahyba . -- São Carlos : UFSCar, 2002.  
167 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2002.

1. Fitoplâncton. 2. Mineralização aeróbia. 3. Temperatura. 4. Polissacarídeos excretados. 5. Modelos cinéticos. 6. Consumo de oxigênio. I. Título.

CDD: 589.4 (20<sup>a</sup>)

Orientador

---

Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior

**Aos meus pais Pedro Paulo e Jacira  
e aos meus irmãos Luciana e Luiz Henrique  
com amor**

**ofereço**

“Buscamos o conhecimento por  
simples questão de curiosidade;  
no entanto, a maioria dentre nós,  
cientistas neste mundo moderno,  
nutre também a esperança de que  
nossas pesquisas venham  
ser úteis a um mundo que  
tanto precisa de ajuda”

(Gordon Riley)

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior pelo estímulo e oportunidade oferecida para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Armando Augusto Henriques Vieira pelo apoio e ajuda recebidos nas várias etapas deste trabalho.

À Universidade Federal de Roraima, em especial ao Departamento de Biologia pela concessão do meu afastamento para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos pela oportunidade de realizar este trabalho e pelo muito que aprendi durante este período.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de Bolsa de Estudos e à FAPESP (proc. n° 99/07766-0) pelo financiamento parcial deste estudo.

À Universidade Federal de São Carlos, em especial ao Departamento de Hidrobiologia, pelas inúmeras facilidades concedidas durante a realização deste trabalho.

À Marcela e ao Angelo pela amizade em todos os momentos, alegres e tristes, que muito me ajudaram.

Aos Professores Prof. Dr. Armando Vieira, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Odete Rocha, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Heloisa Gianotti e Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Nordi pelas sugestões.

Ao Técnico Luiz pelos ensinamentos e ajuda no cultivo das algas.

À Técnica Jurity pela amizade e também pelo auxílio na realização das análises químicas.

Aos amigos Romilda, Bitar, Rogério, Rafael e André pelos momentos vividos no laboratório.

Aos companheiros do Laboratório de Cultura e Fisiologia de Fitoplâncton do Departamento de Botânica (UFSCar): Vanessa, Thais, pelo auxílio durante o período de cultivo; especialmente a Sandra pela paciência e amizade e ao Danilo pelas análises das amostras no cromatógrafo.

À Gloria pela identificação da espécie de alga utilizada.

Aos amigos do curso de doutorado, responsáveis pela convivência agradável e momentos de descontração e convívio; em especial, à Fátima, Cleir, Vânia e Irineu.

Aos amigos da UFRR: Ednalva, Bosco, Cátia, Fábio, Carla, Márcia, Silvana, Vânia e Roberto, pela amizade apesar da separação.

À minha cunhada Josy pela amizade e ajuda neste período.

À minha tia Oaiba, Meire e aos meus afilhados Thainá e João Marcelo pelos domingos sempre tão alegres neste período de convívio.

Nas várias etapas deste trabalho, o apoio de diversas pessoas foi fundamental e de um modo ou de outro contribuíram para a sua realização. A todos, os meus sinceros agradecimentos.



## RESUMO

Neste trabalho foram abordados aspectos da decomposição da espécie fitoplanctônica *Staurastrum iversenii* Nygaard var. *americanum*, isolada do reservatório de Barra Bonita (22° 29' S e 48° 34' W); como recurso da decomposição utilizaram-se: células (rompidas e íntegras) e polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares. Foram abordados, ainda, os efeitos das seguintes variáveis: temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. Para tanto, montou-se em laboratório, câmaras de decomposição com células (rompidas e íntegras) e polissacarídeos (de alta e baixa massas moleculares) provenientes de *S. iversenii*. Com base nas quantificações das concentrações de carbono orgânico descreveu-se os processos de decomposição dos recursos e avaliou-se os coeficientes cinéticos. Estas descrições constituíram a base dos modelos propostos para a decomposição dos recursos. Esses modelos permitiram inferir que os substratos utilizados constituíram-se, do ponto de vista estrutural, de compostos heterogêneos, apresentando frações lábeis e refratárias. Em relação ao consumo de oxigênio, observou-se que foi mais rápido na decomposição das células rompidas que das células íntegras; para os polissacarídeos, os consumos de oxigênio foram mais rápidos nas mineralizações das frações de alta massa molecular. A temperatura influenciou as velocidades dos processos envolvidos com a mineralização das frações refratárias, além de alterar as rotas das mineralizações dos recursos; induziu, também, a ocorrência de alterações das relações estequiométricas (O/C) dos processos. Foi possível verificar que os açúcares que formam estes polissacarídeos contribuíram com o fornecimento de energia para os microrganismos durante um longo período. Os modelos matemáticos propostos mostraram-se sensíveis aos resultados experimentais. A degradação de *S. iversenii* pode contribuir para a manutenção dos processos ligados a manutenção do elo microbiano do reservatório de Barra Bonita.

## ABSTRACT

In this work the decomposition aspects of the *Staurastrum iversenii* Nygaard var. *americanum* phytoplankton species, isolated from the Barra Bonita Reservoir (22°29'S e 48°34'W), were approached; as resource of the decomposition were used: cells (ruptured and whole) and polysaccharide of higher and lower molecular masses. Were approached, still, the effects of the following variables: temperature and concentration of dissolved oxygen. Therefore, decomposition chambers were set up in laboratory with cells (ruptured and whole) and polysaccharides of higher and lower molecular masses deriving from *S. iversenii*. Based on the quantifications of the organic carbon concentrations, the decomposition processes of the resources were described and the kinetic coefficients evaluated. These descriptions constituted the base of the models proposed for the resource decomposition. These models allowed to infer that the used substrata constituted from a structural point of view, of composed heterogeneous, presenting labile and refracting fractions. In relation to the consumption of oxygen, the decomposition of the ruptured cells was observed to be faster than that of the whole cells; for the polysaccharides, the consumptions of oxygen were faster in the mineralization of the fractions of high molecular mass. The temperature influenced the speeds of the processes involved with the mineralization of the refracting fractions, besides altering the mineralization routes of the resources; it, also, induced the occurrence of alterations of the stoichiometric (O/C) relationships of the processes. It was possible to verify that the sugars which form these polysaccharides contributed with the supply of energy to the microorganisms during a long period. The proposed mathematical models were shown to be sensitive to the experimental results. The degradation of *S. iversenii* can contribute to the maintenance of the processes connected to the maintenance of the Barra Bonita Reservoir microbial loop.

## LISTA DE FIGURAS

1	- Diagrama esquemático das duas rotas tróficas a partir das comunidades planctônicas (POMEROY & WIEBE, 1988) .....	05
2	- Modelo de compartimentos da transformação da matéria orgânica algal na coluna d'água (modificado de ARNOSTI <i>et al.</i> , 1994).....	07
3	- Representação esquemática da bacia de drenagem na qual se localiza o reservatório de Barra Bonita (CALIJURI, 1988).....	15
4	- Foto do ponto de coleta de água no reservatório de Barra Bonita.....	15
5	- <i>Staurastrum iversenii</i> (Foto de Gloria Taniguchi).....	17
6	- Diagrama esquemático dos processos de obtenção das células algais e dos polissacarídeos, utilizados nos experimentos de decomposição.....	20
7	- Diagrama esquemático dos procedimentos adotados nos experimentos de decomposição de células algais íntegras e rompidas (A) e dos polissacarídeos (B) excretados por <i>S. iversenii</i> .....	24
8	- Modelo cinético proposto para os processos de mineralização dos polissacarídeos e das células íntegras de <i>S. iversenii</i> . Onde: COPLS = carbono orgânico particulado lábil e/ou solúvel; COPR = carbono orgânico particulado refratário; COD = carbono orgânico dissolvido; $k_T$ = coeficiente global de decaimento de COPLS ( $= k_L + k_M$ ; $k_L$ = coeficiente de lixiviação e $k_M$ = coeficiente mineralização das frações lábeis); $k_3$ = coeficiente de mineralização do COD; $k_4$ = coeficiente de mineralização do COPR; $IN_{1-3}$ = carbono orgânico mineralizado, segundo os coeficientes de mineralização ( $k_T$ , $k_3$ e $k_4$ ).....	31
9	- Variações temporais e espaciais da temperatura nos dias de coleta (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001) .....	36
10	- Variações temporais e espaciais da condutividade elétrica nos dias de coleta (A: julho/2000; B: julho/2001). .....	37
11	- Variações temporais e espaciais do pH nos dias de coleta (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001). .....	38
12	- Variações temporais e espaciais das concentrações de oxigênio dissolvido nos dias de coleta (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001). .....	39
13	- Variações temporais e espaciais da turbidez nos dias de coleta (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001). .....	40
14	- Curva de crescimento de <i>Staurastrum iversenii</i> em meio WC completo, em condições controladas. ....	43
15	- Composição monomérica dos polissacarídeos excretados dissolvidos provenientes de cultura de <i>Staurastrum iversenii</i> . .....	45
16	- Ajustes cinéticos dos decaimentos de COD na decomposição de células rompidas de <i>S. iversenii</i> , sob	

	elevadas concentrações de OD.....	48
17	- Ajustes cinéticos dos decaimentos de COD na decomposição de células rompidas de <i>S. iverseii</i> , sob baixas concentrações de OD.....	49
18	- Ajustes cinéticos das formações de COC na decomposição de células rompidas de <i>S. iverseii</i> , sob elevadas concentrações de OD.....	51
19	- Ajustes cinéticos das formações de COC na decomposição de células rompidas de <i>S. iverseii</i> , sob baixas concentrações de OD.....	52
20	- Coeficientes de decaimento e percentagens de conversão de carbono orgânico dissolvido, em função da temperatura e da condição experimental (em concentração alta de oxigênio: A e B; concentração baixa de oxigênio: C e D), durante a decomposição de células rompidas de <i>S. iverseii</i> .....	54
21	- Coeficientes de mineralização e percentagens de decomposição de carbono mineralizado em função da temperatura e da condição experimental (concentração alta de oxigênio: A e B; concentração baixa de oxigênio: C e D) durante a decomposição de células rompidas de <i>S. iverseii</i> .....	55
22	- Variação temporal do amônio dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.....	59
23	- Variação temporal do amônio dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	60
24	- Variação temporal do nitrito dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.....	61
25	- Variação temporal do nitrito dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	62
26	- Variação temporal do nitrato dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.....	63
27	- Variação temporal do nitrato dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	64
28	- Variação temporal do nitrogênio orgânico total das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.....	65
29	- Variação temporal do nitrogênio orgânico total das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	66
30	- Variação temporal do fósforo total das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.....	67
31	- Variação temporal do fósforo total das câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	68
32	- Variações temporais de pH nas câmaras de decomposição com células rompidas de <i>S. iverseii</i> . A: concentrações elevadas de oxigênio dissolvido; B: baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	72
33	- Variações temporais do COP durante a degradação de células íntegras de <i>S. iverseii</i> , meios com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido.....	77

34	- Variações temporais do COP durante a degradação de células íntegras de <i>S. iverseii</i> , meios com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.....	78
35	- Variações dos coeficientes globais de decaimento do COP ( $k_T$ ): A e B, dos coeficientes de lixiviação (C e D) e dos coeficientes de mineralização (E e F); concentrações elevadas (A, C, E) e baixas de OD (B, D, F).....	79
36	- Ajustes cinéticos das variações de COD durante a degradação de íntegras de <i>S. iverseii</i> em condições de concentrações elevadas de oxigênio.....	81
37	- Ajustes cinéticos das variações de COD durante a degradação de íntegras de <i>S. iverseii</i> em condições de baixas concentrações de oxigênio.....	82
38	- Variações das concentrações finais de COC durante a degradação de células íntegras de <i>S. iverseii</i> .....	84
39	- Variação quantitativa das rotas de mineralização de <i>S. iverseii</i> em condições de baixas (B, D, F) e elevadas (A, C, E) concentrações de OD.....	85
40	- Variação dos coeficientes de mineralização do COD (A e B) e do COP (C e D) durante da a mineralização de <i>S. iverseii</i> concentrações altas (A, C) e baixas (B, D) de OD.....	86
41	- Variações das frações $IN_1$ e $IN_2$ , na degradação de células íntegras de <i>S. iverseii</i> em condições de concentrações elevadas (A) e baixas (B) de OD.....	89
42	- Variação temporal do amônio nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e concentração elevada de OD.....	90
43	- Variação temporal do amônio nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e baixa concentração de OD.....	91
44	- Variação temporal do nitrito nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e concentração elevada de OD.....	92
45	- Variação temporal do nitrito nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e baixa concentração de OD. ....	93
46	- Variação temporal do nitrato nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e concentração elevada de OD. ....	94
47	- Variação temporal do nitrato nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e baixa concentração de OD. ....	95
48	- Variação temporal do nitrogênio orgânico total nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e concentração elevada de OD. ....	96
49	- Variação temporal do nitrogênio orgânico total nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e baixa concentração de OD. ....	97
50	- Variação temporal de fosfato total nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e concentração elevada de OD. ....	98
51	- Variação temporal de fosfato total nas câmaras de decomposição com <i>S. iverseii</i> e baixa concentração de OD. ....	99
52	- Variações temporais do pH nas câmaras de decomposição com células íntegras de <i>S. iverseii</i> . A: concentração elevada de OD; B: concentração baixa de OD.....	100
53	- Variação temporal do COP durante a degradação de polissacarídeos de alta massa molecular excretados	

	de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	106
54	- Variação temporal do COP durante a degradação de polissacarídeos de baixa massa molecular excretados de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	107
55	- Variação temporal do COD durante a degradação de polissacarídeos de alta massa molecular excretados de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	108
56	- Variação temporal do COD durante a degradação de polissacarídeos de baixa massa molecular excretados de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	109
57	- Variação dos coeficientes de mineralização do COD e do COPR de polissacarídeos com alta (A e C) e baixa massas moleculares (B e D).....	111
58	- Variações dos coeficientes globais de decaimento do COP ( $k_T$ ): A e B; dos coeficientes de lixiviação (C e D) e dos coeficientes de mineralização (E e F); dos polissacarídeos com altas (A, C e E) e baixas massas moleculares (B, D e F).....	114
59	- Consumo de oxigênio durante a mineralização das células rompidas de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	124
60	- Consumo de oxigênio durante a mineralização das células íntegras de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	125
61	- Consumo de oxigênio durante as mineralizações de polissacarídeos com alta massa molecular excretados de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas.....	126
62	- Consumo de oxigênio durante as mineralizações de polissacarídeos com baixa massa molecular de <i>S. iverseii</i> , em diferentes temperaturas de incubação.....	127
63	- Variações das estequiometrias (O/C) e dos tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para as mineralizações de células rompidas (A e B) e células íntegras (C e D) de <i>S. iverseii</i> .....	129
64	- Variações das estequiometrias (O/C) e dos tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para as mineralizações: polissacarídeos com alta (A e B) e baixa (C e D) massas moleculares.....	130

## LISTA DE TABELAS

1	- Parametrização dos modelos cinéticos propostos para a decomposição das células rompidas de <i>S. iversenii</i> .....	57
2	- Parâmetros dos modelos cinéticos adotados para degradação de células íntegras de <i>S. iversenii</i> (COP).....	74
3	- Parâmetros dos modelos cinéticos adotados para a degradação do COD de células íntegras de <i>S. iversenii</i> .....	75
4	- Parametrização do modelo cinético da degradação de polissacarídeos (com alta e baixa massas moleculares) excretados de <i>S. iversenii</i> (COP).....	103
5	- Parametrização do modelo cinético da degradação de polissacarídeos (com alta e baixa massas moleculares) excretados de <i>S. iversenii</i> (COD).....	104
6	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular alta excretado por <i>S. iversenii</i> , 19,3 °C.....	116
7	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular alta excretado por <i>S. iversenii</i> , 23,8 °C.....	116
8	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular alta excretado por <i>S. iversenii</i> , 25,4 °C. ....	117
9	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular alta excretado por <i>S. iversenii</i> , 28,1°C.....	117
10	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de baixa massa molecular excretado por <i>S. iversenii</i> , 19,3 °C. ....	118
11	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular baixa excretado por <i>S. iversenii</i> , 23,8 °C. ....	118
12	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular baixa excretado por <i>S. iversenii</i> , 25,4 °C. ....	119
13	- Concentração de açúcares provenientes da degradação de massa molecular baixa excretado por <i>S. iversenii</i> , 28,1°C. ....	119
14	- Parâmetros do modelo cinético de consumo de oxigênio, a partir da mineralização de recursos provenientes de <i>S. iversenii</i> . ....	123

## SUMÁRIO

	Pág.
1. Introdução .....	01
1.1. Aspectos gerais dos detritos orgânicos nos ecossistemas aquáticos .....	01
1.2. Estudos sobre a matéria orgânica dissolvida proveniente do fitoplâncton .....	08
1.3. Trabalhos realizados no reservatório de Barra Bonita .....	10
2. Hipótese .....	12
3. Objetivos .....	13
4. Materiais e métodos .....	14
4.1. Descrição do local de estudo .....	14
4.2. O organismo estudado .....	16
4.3. Cultivo de <i>Staurastrum iversenii</i> e obtenção dos polissacarídeos .....	18
4.4. Coletas das amostras de água do reservatório .....	21
4.5. Experimentos de decomposição .....	21
4.6. Modelos matemáticos utilizados .....	28
5. Resultados e Discussão .....	35
5.1. Variáveis físicas e químicas do reservatório .....	35
5.2. O crescimento de <i>S. iversenii</i> .....	42
5.3. Composição monomérica do PED .....	43
5.4. Decomposição células rompidas de <i>S. iversenii</i> .....	47
5.5. Decomposição células íntegras de <i>S. iversenii</i> .....	73
5.6. Decomposição dos polissacarídeos excretados por <i>S. iversenii</i> .....	102
5.7. O consumo de oxigênio .....	122
6. Conclusões .....	135
7. Referências bibliográficas .....	137
8. Anexos .....	155



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. ASPECTOS GERAIS DOS DETRITOS ORGÂNICOS NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Em vários ambientes aquáticos, o fitoplâncton tem sido reconhecido como a principal comunidade responsável pela produção primária em vários ambientes aquáticos, fornecendo suporte nutricional e influenciando os níveis subseqüentes da cadeia alimentar (WETZEL & LIKENS, 1991; SOLIDORO *et al.*, 1995; TERZIÉ *et al.*, 1998), incluindo a cadeia de detritos. Nesses ambientes, os acúmulos de compostos orgânicos e inorgânicos são regulados, basicamente, por dois processos: a assimilação e a degradação. A assimilação de CO<sub>2</sub> e de outros elementos inorgânicos ocorre principalmente pelos organismos fotossintetizantes (p. ex. o fitoplâncton), através dos quais o carbono processado durante a fotossíntese é utilizado como matéria-prima para a biossíntese e subseqüentemente como recurso aos processos degradativos (mineralização), na forma de detrito, pelos organismos heterotróficos (MÜNSTER & CHRÓST, 1990).

A matéria orgânica (MO) pode ser dividida em MO-biota (biomassa) e MO-detrital. Nos ambientes aquáticos, as principais fontes de detritos podem ser: a) compostos orgânicos de origem alóctone (TRANVIK, 1992); b) material orgânico originado da decomposição dos organismos aquáticos (CUNHA, 1996; ROYER & MINSHALL, 1997); c) metabólitos extracelulares excretados pelas macrófitas aquáticas (WETZEL & MANNY, 1972; WETZEL, 1983); d) produtos de excreção da fauna (PIECZYNSKA, 1986; COGNIE & BARILLÉ, 1999) e e) de metabólitos extracelulares excretados pelo fitoplâncton (BAINES & PACE, 1991; ZWEIFEL *et al.*, 1995).

Quanto à origem, a MO-detrital pode ser autóctone (proveniente do próprio ambiente, p. ex. resíduos de macrófitas aquáticas) ou alóctone, ou seja, originária de

ecossistemas adjacentes (JORGE, 1972). Pode ser constituída por compostos lábeis (fácil degradação), como por exemplo a glicose (ARNOSTI *et al.*, 1994) e/ou por compostos refratários, ou seja, mais resistentes à degradação microbiológica (p. ex. a parede celular do fitoplâncton contém celulose com impregnações de pectina) (NORRMAN *et al.*, 1995; BUNTE & SIMON, 1999; BROOK, 1981).

De acordo com ESTEVES (1988), a MO-detrital pode ser dividida em: particulada (MOP) e dissolvida (MOD). A natureza química da MOP e da MOD é bastante diversificada, podendo abranger desde os compostos mais simples até os mais complexos. Dentre as moléculas de baixa massa molecular ( $MM < 500$  Da) encontram-se os aminoácidos, os polipeptídeos, as vitaminas, os açúcares simples e o ácido glicólico. Estas substâncias com baixa massa molecular, em particular, são susceptíveis à utilização por microorganismos heterotróficos, sendo esta uma das rotas metabólicas pelas quais a MO-detrital retorna à cadeia (MAURIN *et al.*, 1997).

Parte dos detritos é convertida em compostos húmicos, substâncias consideradas produtos poliméricos da degradação de carboidratos, ligninas, proteínas e gorduras em diferentes estágios de decomposição, ou seja, as moléculas complexas e grandes de substâncias húmicas ocorrem a partir de condensações e/ou polimerizações (enzimáticas e/ou químicas) de produtos relativamente simples da decomposição (GOLTERMAN, 1975; SWIFT *et al.*, 1979; CUNHA & BIANCHINI, Jr., 2001).

De acordo com a solubilidade, as substâncias húmicas são classificadas em três tipos (STEVENSON, 1982): os ácidos fúlvicos (solúveis em meios ácido e alcalino); os ácidos húmicos (solúveis em meios alcalinos e insolúveis em soluções ácidas) e a humina (insolúvel em meios alcalino e ácido).

Além dos compostos húmicos, entre os compostos com alta massa molecular ( $MM > 500$  Da) encontram-se os polissacarídeos, que constituem fontes energéticas para várias espécies da fauna, que por sua vez, constituem recursos para os níveis superiores das cadeias tróficas (VIEIRA, 1980; SILVA, 1990).

A liberação de MOD pelo fitoplâncton pode ocorrer de várias maneiras: a) a partir da decomposição de material particulado senescente (OTSUKI & HANYA, 1972 a, b; COLE *et al.*, 1982; CHAN, 1985; FOREE & McCARTY, 1970; JEWELL & McCARTY, 1971); b) por autólise das células (AGUSTÍ *et al.*, 1998) ou lise por parasitas intra e extracelulares (LOPEZ-LLORCA & HERNANDEZ, 1996; MORENO-GARRIDO & CAÑAVATE, 2001); c) por quebra mecânica pelo zooplâncton (WOTTON, 1994) e d) por processos de excreção celular (SHARP, 1977; STORCH & SAUNDERS, 1978; VIEIRA, 1980; VIEIRA & AIDAR-ARAGÃO, 1982; FOOG 1983; BJØRNSSEN, 1988).

Nos ecossistemas aquáticos, a MOD pode exercer várias funções, dentre as quais citam-se: a) fonte de energia para os microrganismos (WRIGHT & HOBBIE, 1966; ZWEIFEL *et al.*, 1995; MORAN & ZEPP, 1997; BUNTE & SIMON, 1999; CUNHA-SANTINO & BIANCHINI Jr., 2002); b) agente de crescimento através da disponibilização de nutrientes e vitaminas (DOBLIN *et al.*, 1999; CHRZANOWSKI & GROVER, 2001) e c) agentes de inibição (antibióticos ou por atenuação da radiação solar) impedindo o desenvolvimento de espécies de fito e bacterioplâncton (GUNNISON & ALEXANDER, 1975).

As células algais podem liberar altas concentrações de MOD nos ambientes aquáticos. Tais liberações podem variar de 1 a 70% do total de carbono fotossintetizado pelo fitoplâncton (CHRÓST & FAUST, 1980). Segundo ITURRIAGA & ZSOLNAY (1983) e CHO *et al.* (1997), cerca de 75% da MOD liberada pelo fitoplâncton é incorporada à biomassa bacteriana, em curto período de tempo (de dois a três dias).

Nos ecossistemas aquáticos, as bactérias são reconhecidas como eficientes agentes decompositores da matéria orgânica, sendo que sua abundância pode representar um índice da atividade heterótrofica (LYNCH & HOBBIE, 1979). Estes organismos não são apenas responsáveis pela ciclagem dos nutrientes, mas também participam da ligação trófica excepcional entre os detritos e a cadeia alimentar. Com isso, nutrientes, carbono e energia são eficientemente transferidos de um nível inferior

da cadeia alimentar para um nível mais alto (BIDDANDA, 1985; POMEROY & WIEBE, 1988; JUGNIA *et al.*, 2000). Embora POMEROY em 1974 tenha discutido a utilização da MOD pelas bactérias nas cadeias alimentares aquáticas (Figura 1), o termo elo microbiano só foi formulado em 1979 por AZAM *et al.*. Este conceito considera que as bactérias são responsáveis pelo retorno da MOD para cadeia alimentar, inclusive a excretada pelo fitoplâncton.

Atualmente, tem sido descrita a produção de grande variedade de substâncias extracelulares pelo fitoplâncton tem sido descrita. Dentre os compostos excretados pelas algas, citam-se: carboidratos, substâncias nitrogenadas, ácidos orgânicos, lipídios, substâncias fenólicas, fosfatos orgânicos e toxinas (HELLEBUST, 1974).

Os carboidratos são os compostos orgânicos que mais se destacam em estudos sobre excretados de fitoplâncton (BIERSMITH & BENNER, 1998; GOTO *et al.*, 2001; D'SOUZA & BHOSLE, 2001). Os carboidratos são compostos orgânicos definidos como poliálcool-aldeído ou poliálcool-cetona; podem ser divididos em monossacarídeos (açúcares simples que não podem ser hidrolisados a moléculas menores), e em polissacarídeos. Os polissacarídeos são macromoléculas naturais que ocorrem em quase todos os organismos vivos exercendo várias funções, muitas das quais não estão bem esclarecidas. São formados pela condensação de monossacarídeos ou seus derivados, unidos por ligações glicosídicas (LEHNINGER, 1993). Estes açúcares compõem uma fração substancial da biomassa fitoplanctônica, representando 20 a 45% do carbono orgânico particulado (COP) e de 20 a 90% do dissolvido (COD) liberado pelo fitoplâncton para o meio aquático (MINOR & EGLINTON, 1999).

Estudos realizados por BUNTER & SIMON (1999) abordaram a disponibilidade dos carboidratos para o bacterioplâncton, concluindo que as quantidades disponíveis destes compostos podem aumentar conforme ocorre a senescência das células do fitoplâncton (BIDDANDA & BENNER, 1997).

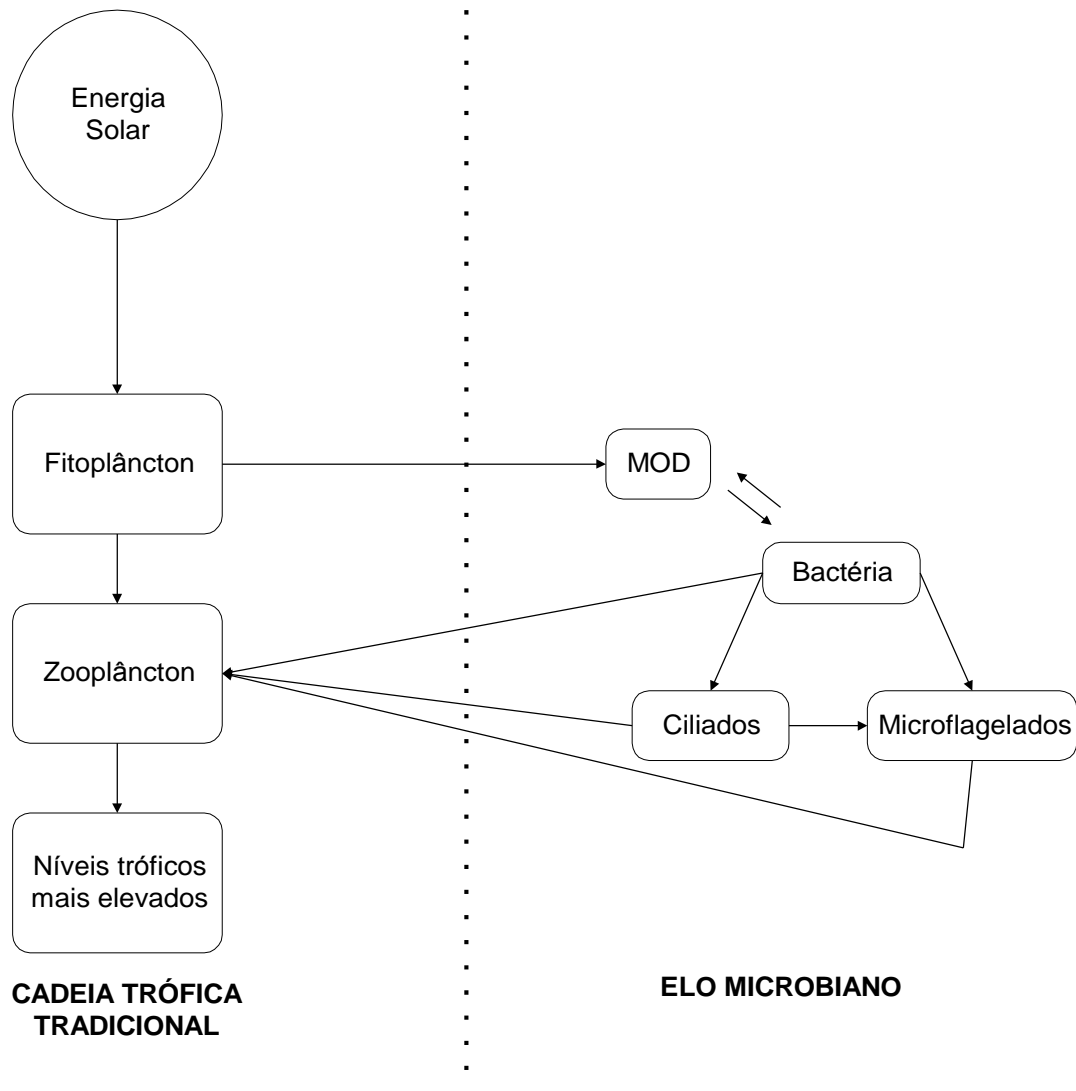


FIGURA 1 - Diagrama esquemático das duas rotas tróficas a partir das comunidades planctônicas (POMEROY & WIEBE, 1988).

Foram atribuídas várias propriedades aos carboidratos nos ambientes aquáticos, tais como: a) controle da flutuação do fitoplâncton (IGNATIADES & FOGG, 1973); b) reassimilação pelas algas em situação de estresse de nutrientes (FOGG, 1983; MÜNSTER & CHRÓST, 1990); c) agentes quelantes de metais pesados de forma a diminuir a disponibilidade destes elementos no meio (como por exemplo, o cobre). Podem, ainda, desempenhar a função de fonte de carbono (energia) durante os processos de mineralização dos sedimentos (HULTH *et al.*, 1997).

A degradação de material orgânico de origem algal, tanto as células quanto seus excretados, é um processo importante na regeneração da matéria orgânica e inorgânica nos ambientes aquáticos. Neste contexto, a liberação de COD pelas algas e a sua utilização pelas bactérias, em alguns casos, podem constituir a principal rota de transferência de carbono em ecossistemas aquáticos (POMEROY, 1974; WETZEL, 1995).

O processo de decomposição resulta na dissipação de energia e liberação de nutrientes armazenados nos detritos. Embora possa ser realizado através de mecanismos físicos e químicos, que geralmente predominam nas etapas iniciais, o mais comum é que os processos sejam controlados por mecanismos biológicos (PURIVETH, 1980; ODUM, 1985).

De acordo com WETZEL & LIKENS (1991), nos ambientes aquáticos a decomposição microbiana envolve dois processos: a) a degradação hidrolítica de polímeros orgânicos de alto peso molecular em componentes de baixo peso molecular, como glicose, celobiose e aminoácidos e b) a mineralização oxidativa de componentes orgânicos de baixo peso molecular e de monômeros para componentes inorgânicos, como:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{PO}_4^{-3}$  (Figura 2).

A intensidade da ciclagem dos detritos através da ação microbiana é afetada por fatores como: concentração de oxigênio dissolvido (OTSUKI & HANYA, 1972a,b; PACOBAHYBA *et al.*, submetido), temperatura (POMEROY & DEIBEL, 1986; WHITE *et al.*, 1991), luz (MORAN & ZEPP, 1997); composição química dos recursos (GUNNISON & ALEXANDER, 1975), densidade microbiana (PÍCCOLO, 1999) e refratabilidade de certas frações de matéria orgânica (CHO *et al.*, 1997).

Vários recursos orgânicos podem fornecer suporte energético e nutricional para os organismos heterotróficos. Uma parte desses recursos é prontamente assimilada e incorporada à biomassa bacteriana; os compostos não incorporados são convertidos em compostos húmicos e/ou são respirados e convertidos em  $\text{CO}_2$  (MORAN & HODSON, 1994; NORRMAN *et al.*, 1995; THOMAS & EATON, 1996). Dentre as várias

fontes, o fitoplâncton pode ser considerado um importante recurso tendo em vista que durante a degradação das células algais grande parte dos nutrientes (p. ex. nitrogênio e fósforo) podem ser regenerados nos ambientes aquáticos (CHAN, 1985).

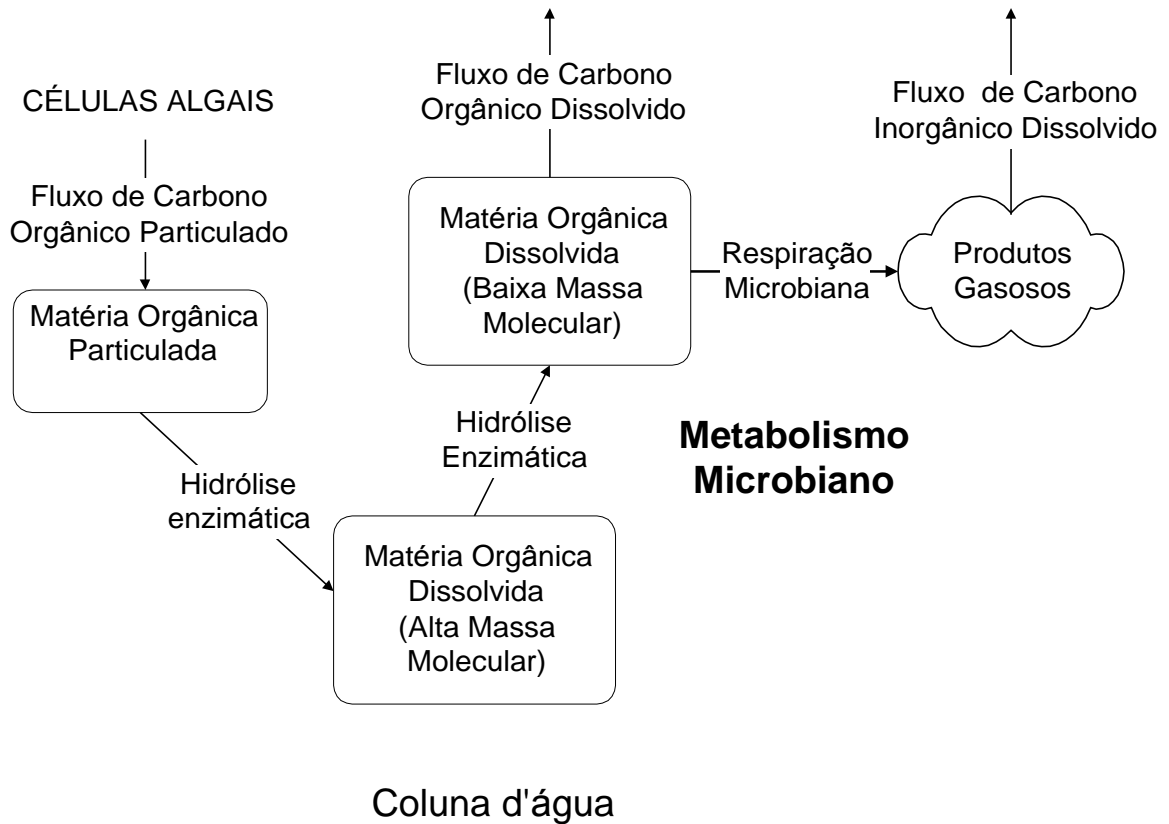


FIGURA 2 – Modelo de compartimentos da transformação da matéria orgânica algal na coluna d'água (modificado de ARNOSTI *et al.*, 1994).

As bactérias heterotróficas podem converter substâncias de baixa massa molecular em moléculas que serão liberadas extracelularmente para o ambiente (CHRÓST & SUIDA, 1978). Estes organismos são considerados os maiores consumidores e remineralizadores da MOD dos ambientes aquáticos (POMEROY, 1974) e exercem, ainda, forte influência na composição e concentração da matéria orgânica dissolvida e particulada (BENNER *et al.*, 1995), fazendo parte dos compartimentos que regulam as dinâmicas dos ciclos biogeoquímicos (AMON & BENNER, 1996; PEDRÓS-ALIÓS & GUERRERO, 1993).

## 1.2. ESTUDOS SOBRE A MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA PROVENIENTE DO FITOPLÂNCTON

Trabalhos pioneiros sobre a MOD datam do começo do século XX, quando no ano de 1908, Putter observou que os invertebrados filtradores marinhos foram incapazes de processar grandes volumes de água para a obtenção de alimentos, inferindo que parte de seus alimentos deveria vir da MOD. No ano de 1934, Krogh afirmou que a MOD das águas oceânicas apresentava concentrações similares em todo o perfil de profundidade (VIEIRA, 1980).

Somente na década de 50 foi publicado, por KLEEREKOPER (1953), um estudo sobre a mineralização do plâncton. Neste trabalho, o autor relatou os problemas metodológicos e as implicações ecológicas decorrentes do processo de degradação de algas.

PRITCHARD, GRIFFIN & WHITTINGHAM (1962) *apud* HELLEBUST (1965) demonstraram que a excreção do ácido glicólico por *Chlorella pyrenoidosa* não foi afetada pela intensidade luminosa. Neste mesmo trabalho, os autores evidenciaram a produção de vários excretados de algas marinhas sob diferentes intensidades luminosas. Posteriormente, FOREE & McCARTY (1970) publicaram um estudo sobre a cinética da decomposição anaeróbia de algas. Os aspectos mais relevantes deste estudo foram os registros dos coeficientes de decomposição e dos rendimentos das conversões da MOP (células algais) em MOD. Outros trabalhos enfocando as cinéticas de decomposição (aeróbia e anaeróbia) de algas foram desenvolvidos por FOREE & McCARTY (1970), JEWELL & McCARTY (1971) e OTSUKI & HANYA (1972 a, b).

Experimentos de decomposição aeróbia de carboidratos de baixa massa molecular, derivados de diatomáceas, foram realizados por OGURA & GOTOH (1974).



Os coeficientes de decomposição de vários recursos no ambiente marinho foram amplamente discutidos por OGURA (1975).

SHARP (1977) verificou que compostos orgânicos excretados por células fitoplanctônicas saudáveis foram metabolizados pelos microrganismos, corroborando com os conceitos propostos por FOGG (1966 *apud* SHARP, 1977). Neste estudo observou-se que de 5 a 35% do carbono fixado pelo fitoplâncton foi transferido para o reservatório (*pool*) de matéria orgânica detrital.

Em um breve comentário sobre matéria orgânica excretada pelas algas AARONSON (1978) relatou que foram identificadas em um *bloom* de *Peridinium cinctum* c.f. *westii* substâncias como: proteínas, vitamina B e enzima (fosfatase ácida).

No Brasil, o primeiro trabalho envolvendo MOD proveniente da excreção do fitoplâncton foi realizado por VIEIRA (1980) em águas oceânicas e costeiras. A partir deste, foram desenvolvidos vários outros estudos, em diferentes tipos de ecossistemas aquáticos (VIEIRA, 1980; VIEIRA & CÁCERES, 1987; SILVA, 1990; NORDI, 1993).

Em uma revisão sobre o papel dos microrganismos nas cadeias alimentares dos ecossistemas aquáticos SHERR & SHERR (1988) incluem o elo microbiano como componente e parte integral da rede trófica microbiana.

SCHOENBERG *et al.* (1988) estudaram a decomposição aeróbia e anaeróbia do fitoplâncton em diferentes temperaturas; verificaram, que a seleção dos decompositores termofílicos ocorreu mais rapidamente quando estes organismos não foram expostos às temperaturas elevadas por tempo prolongado. A partir deste estudo, uma série de trabalhos enfocando os efeitos da temperatura e da luz, sobre a excreção de carbono orgânico dissolvido foram realizados por IGNATIADES & FOGG (1973), WATANABE (1980), VERITY (1981) e ZLOTNIK & DUBINSKY (1989).

BJØRNSSEN (1988) comentando o trabalho desenvolvido por SHARP (1977), questionou o fato de a excreção ocorrer através de células saudáveis de fitoplâncton, ao

mesmo tempo discutiu que o processo de excreção deve-se à permeabilidade da parede celular, principalmente dos compostos de baixa massa molecular.

As utilizações dos produtos de excreção de algas (com diferentes massas moleculares) pelos organismos heterotróficos, foram discutidas por FREIRE-NORDI & VIEIRA (1996), GOUVÊA (1998), PÍCCOLO (1999) e COLOMBO (2001). Alguns fatores abióticos (tais como: intensidade luminosa, concentração de nutrientes) também foram relacionados com a formação e degradação destes produtos (CÁCERES & VIEIRA 1988; SILVA 1990; FERENSI 1994; VIEIRA *et al.* 1994; GIROLDO, 1998).

### **1.3. TRABALHOS REALIZADOS NO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA**

Reservatórios são ecossistemas artificiais, intermediários entre rios e lagos e estão sujeitos à ação de fatores físicos que interferem diretamente na composição dos organismos destes ambientes (TUNDISI, 1990). O reservatório de Barra Bonita tem como principal função a geração de energia, porém, é um ambiente utilizado para irrigação, piscicultura, recreação e abastecimento. Desta maneira, torna-se necessário o conhecimento dos processos biológicos e ecológicos deste ecossistema. O reservatório está localizado em uma área de transição entre os climas tropical e subtropical, não apresentando estações climáticas bem definidas. Na região, os maiores índices de precipitação ocorrem no verão (período chuvoso) e os menores no inverno (período seco), sendo estes os marcadores sazonais mais nítidos da área (JATI, 1998). De acordo com a classificação Köppen o clima da região que abriga este reservatório pode ser considerado CW' (WISNIEWSKI, 1998).

O reservatório de Barra Bonita é raso, embora apresente profundidade média elevada quando comparado a outros do estado de São Paulo. É considerado um ambiente eutrófico e poluído, devido às entradas de cargas residuárias de efluentes

industriais e domésticos. Tais cargas são provenientes dos rios Tietê e Piracicaba e de entrada de fertilizantes e agrotóxicos resultantes da agricultura (WISNIEWSKI, 1998).

As ações do vento e da radiação solar fazem com que o reservatório de Barra Bonita possua, predominantemente, padrão de circulação polimítico (DE FILIPPO, 1987; ARANHA, 1990).

A usina hidroelétrica Barra Bonita é importante para a operação de outros cinco sistemas situados a jusante, uma vez que regula o fluxo de água, e conseqüentemente, as entradas de nitrogênio, fósforo e de inóculos de fitoplâncton para os outros reservatórios (CALIJURI, 1988).

WISNIEWSKI (1998) relata que os primeiros trabalhos desenvolvidos neste ambiente foram realizados no projeto “Tipologia de Represas” em 1979 (TUNDISI 1981; 1983; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1986) no qual além de Barra Bonita, foram estudados mais 22 reservatórios do estado de São Paulo.

GENTIL (1984) comparou os dados limnológicos deste ambiente com outros reservatórios do estado de São Paulo, concluindo que Barra Bonita foi o segundo mais produtivo em termos de matéria orgânica pelo fitoplâncton. HENRY *et al.* (1985) estudaram a produção primária e o efeito do enriquecimento com nitrato e fósforo sobre a comunidade fitoplanctônica deste reservatório. HENRY (1986) avaliou o crescimento potencial do fitoplâncton para este ambiente, através do enriquecimento de amostras de água com nitrato e fósforo em diferentes épocas do ano, sugerindo que o fósforo é o elemento limitante nas águas perto da barragem. HENRY & SIMÃO (1988) estudando aspectos sazonais e a limitação por nutrientes no crescimento fitoplanctônico no reservatório de Barra Bonita concluíram que o fósforo foi o principal elemento estimulador do crescimento, o nitrogênio não apresentou efeito estimulador e o ferro relacionou-se a uma ação estimuladora secundária. Outros estudos com fitoplâncton foram desenvolvidos por CALIJURI & TUNDISI (1990), DE FILIPPO (1987) e JATI (1998), que compararam os dados limnológicos do reservatório de Barra Bonita com os do Lobo. Tais comparações foram importantes pois permitiram um melhor

entendimento dos mecanismos de funcionamento destes ambientes, fornecendo informações úteis para o manejo e os usos múltiplos dos reservatórios. CALIJURI & DOS SANTOS (2001) aprofundaram os estudos sobre o fitoplâncton do reservatório de Barra Bonita. Enfocando as taxas, compararam a produção primária do nanoplâncton e do microfitoplâncton, sendo que os dados foram relacionados com variáveis químicas e físicas da água. Em paralelo, estudaram a dinâmica destas comunidades em pequenos intervalos de tempo e em diferentes períodos do ano.

Os estudos sobre o zooplâncton e produção secundária foram desenvolvidos por FONSECA (1990), MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (1990), ESPINDOLA (1994), RIETZLER (1995), GAVILAN-DIAZ (1996) e WISNIEWSKI (1998), que além da taxonomia abordam as suas relações com fatores ecológicos.

PETRACCO (1995) estimou a influência da biomassa de macrófitas nos estoques de nitrogênio e do fósforo do reservatório e MEYER (1996) avaliou a variação temporal e espacial da biomassa de *Paspalum repens* (Berg).

Contribuindo para os estudos sobre a ciclagem de nutrientes, VALENTE *et al.* (1997) avaliaram o grau de contribuição do nitrogênio e fósforo na eutrofização do reservatório de Barra Bonita. Nesse contexto ABATE & MASINI (2001) verificaram a capacidade de complexação do ácido húmico dos sedimentos deste reservatório.

VALÊNCIO *et al.* (1999) caracterizaram o papel das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e de Jurumirim no processo de interiorização urbana e os impactos causados pela criação e implantação dos reservatórios, como êxodo rural, a implementação da indústria, o crescimento da população urbana e a utilização dos reservatórios como áreas de lazer e turismo.

## **2. HIPÓTESE**

Com base no exposto, supõe-se que em ambientes eutróficos a mineralização do fitoplâncton e de seus produtos de excreção seja um processo importante para a manutenção da cadeia trófica.

### 3. OBJETIVOS

Considerando a degradação de material orgânico de origem algal (células e excretados), como sendo um processo importante na regeneração da matéria orgânica e inorgânica nos ambientes aquáticos, este estudo teve por objetivo:

- ✓ Estabelecer as cinéticas de mineralização de recursos orgânicos (células íntegras, rompidas e polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares) de uma cultura de *Staurastrum iversenii* Nygaard var. *americanum*, cujas células foram coletadas no reservatório de Barra Bonita.
- ✓ Discutir os efeitos de alguns fatores abióticos sobre estes processos (temperatura e concentração de oxigênio dissolvido).

Para tanto foram adotados os seguintes procedimentos:

- ✓ Quantificar o decaimento das frações de carbono no processo de mineralização das células rompidas, íntegras e de polissacarídeos excretados de alta e baixa massa molecular, em diferentes temperaturas e concentrações de oxigênio dissolvido.
- ✓ Determinar os consumos de oxigênio durante os processos de mineralização aeróbia de células algais (íntegras e rompidas) e de polissacarídeos excretados (altas e baixas massas moleculares).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O reservatório de Barra Bonita foi construído em 1963, está localizado a 22° 29' S e 48° 34' W, a uma altitude de 340 metros e o seu volume é de aproximadamente  $22 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Situa-se entre os municípios de Barra Bonita e Igaracu (SP) e é formado por dois tributários, o Rio Tietê e o Rio Piracicaba (Figura 3).

O ponto de coleta situou-se na região limnética do reservatório, a aproximadamente 3 km da barragem. Este ponto foi georeferenciado com a utilização de um GPS (Sistema de Posicionamento Global). De acordo com a leitura realizada, localizou-se a 22° 32' 34,5" S e 48° 29' 26,4" W (Figura 4).

O reservatório de Barra Bonita apresenta as seguintes características morfométricas, segundo CALIJURI (1988) e CALIJURI & TUNDISI (1990):

Área de inundação	=	324,84 km <sup>2</sup>
Perímetro	=	525,00 km
Volume total do reservatório	=	$3.160 \times 10^6$ m <sup>3</sup>
Volume útil do reservatório	=	$2.600 \times 10^6$ m <sup>3</sup>
Descarga total do vertedouro	=	4.200 m <sup>3</sup> /s
Tempo de residência	=	de 35 a 84 dias
Profundidade média	=	10,20 m

Conforme levantamentos elaborados por CALIJURI & TUNDISI (1990) o tipo de rocha que predomina na região é o basalto, mas na bacia de drenagem ocorrem também o latosolo roxo, eutrófico (Lre) e distrófico (LRd), de textura argilosa aparecendo em alguns pontos, brunizem avermelhado (Bv) também de textura argilosa.

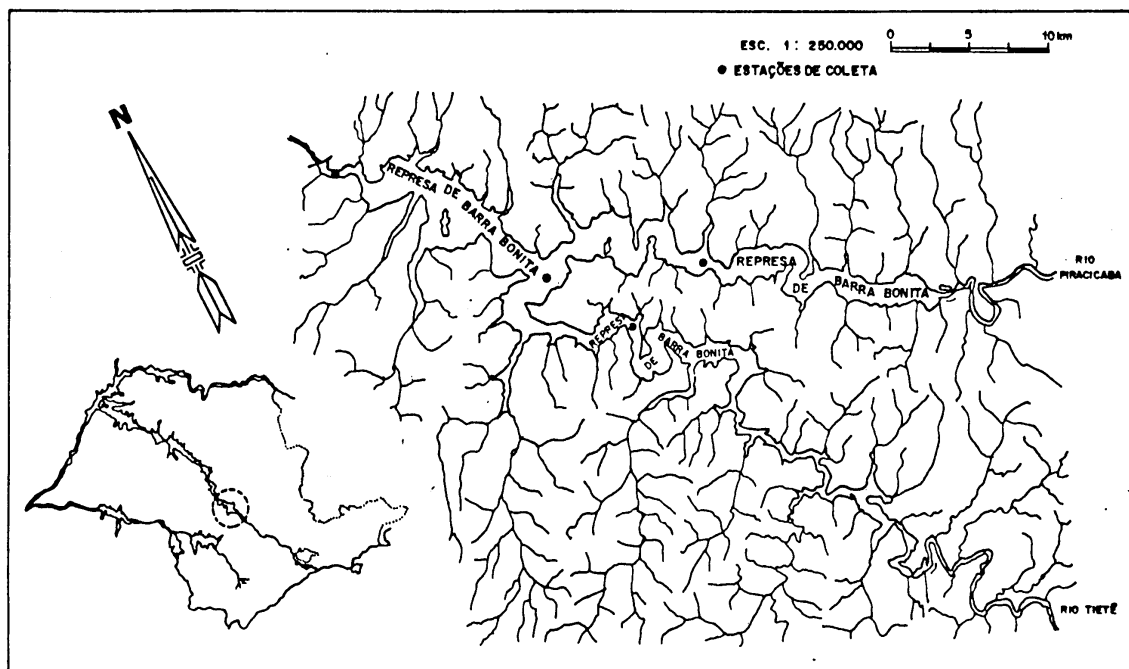


FIGURA 3 - Representação esquemática da bacia de drenagem na qual se localiza o reservatório de Barra Bonita (CALIJURI, 1988).



FIGURA 4 - Foto do ponto de coleta de água no reservatório de Barra Bonita.

Dentre os fatores que podem influenciar o crescimento da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita, a temperatura foi considerada como uma das principais variáveis. De acordo com os levantamentos realizados por CALIJURI & DOS SANTOS (2001), neste ambiente a temperatura variou entre 11 e 21°C durante o inverno e entre 23 e 31°C no verão; a radiação solar mensal média foi 305 cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> durante o inverno e 464 cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup> no período de verão.

#### **4.2. O ORGANISMO ESTUDADO**

A espécie *Staurastrum iversenii* var. *americanum* GRÖNBLAD 1829 pertence à classe Zygnemaphyceae (Figura 5), sendo esta uma variedade menor em relação à espécie, por possuir uma curvatura diferente nos processos laterais. Apresenta somente 4 espinhos pequenos (verrugas bífidas) dentro das margens de cada semicélula, e no ápice e em cada lado do istmo há dois espinhos minúsculos que, entretanto, não estão sempre presentes (SCOTT & GRÖNBLAD, 1957).

A espécie *Staurastrum iversenii* foi selecionada considerando que ela possui uma espessa cápsula de polissacarídeos extracelulares e por apresentar um crescimento relativamente lento, quando mantidas em culturas axênicas. Além de ser uma espécie representativa na comunidade fitoplanctônica do ambiente em estudo.

Esta espécie foi isolada do reservatório de Barra Bonita, sendo mantida em meio WC/Completo (GUILLARD & LORENNZEN, 1972), na coleção de Culturas de Microalgas de Água Doce do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos, catalogada como 205 CHL.



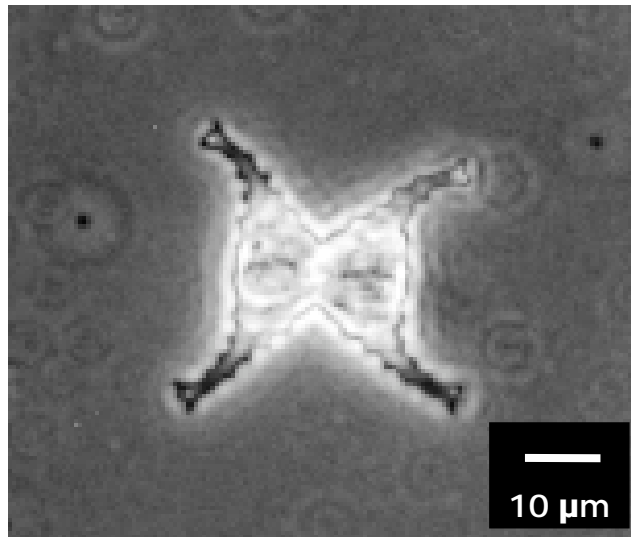


FIGURA 5 - *Staurastrum iversenii* (Foto de Gloria Taniguchi).

### 4.3. CULTIVO DE *Staurastrum iversenii* E OBTENÇÃO DOS POLISSACARÍDEOS

#### 4.3.1. CULTURAS EXPERIMENTAIS

##### 4.3.1.1. MEIO DE CULTURA

O meio de cultura empregado foi o WC completo (GUILLARD & LORENZEN, 1972) que possui a seguinte composição: a) solução de macronutrientes:  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (36,76 g/l);  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (36,97 g/l);  $\text{NaHCO}_3$  (12,60 g/l);  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (8,71 g/l);  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (28,72 g/l) e  $\text{NaNO}_3$  (85,01 g/l), b) solução de micronutrientes composta por  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (4,36 mg/l);  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (3,15 mg/l);  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (0,01mg/l);  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0,002 mg/l);  $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  (0,01 mg/l);  $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  (0,18 mg/l);  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,006mg/l);  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (1,0 mg/l) e solução de vitaminas:  $\text{B}_{12}$  (0,1 mg/l), biotina(0,5  $\mu\text{g/l}$ ) e tiamina (0,5  $\mu\text{g/l}$ ).

Para as montagens dos meios de cultura foram utilizados 1,0 ml desta solução para cada litro de água destilada.

Para as lavagens das células foi utilizado o meio WC modificado, sem as fontes de fósforo ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) e de nitrato ( $\text{Na NO}_3$ ). Antes de serem autoclavados (120°C, 1 atm, 1h), os meios de culturas tiveram os valores de pH ajustados para 7,0.

##### 4.3.1.2. CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO

As culturas de *S. iversenii* foram mantidas em meio de cultura, em garrafões de vidro com capacidade de 8 litros. Os cultivos foram realizados sob condições controladas (aeração contínua por borbulhamento de ar comprimido filtrado, temperatura de 20 a 21°C e fotoperíodo 12/12h claro/escuro).

A partir de culturas com aproximadamente 60 dias, as células foram separadas do meio por centrifugação (352,17 g, 30min). Após este procedimento, as células

foram lavadas com o meio de cultura, a uma temperatura de 50°C para as remoções de polissacarídeos aderidos às paredes celulares (PAULSEN & VIEIRA, 1974).

#### 4.3.2. CURVA DE CRESCIMENTO

Para obtenção da curva de crescimento da espécie, periodicamente foram retiradas alíquotas de 5,0 ml. As contagens foram realizadas através de lâmina hemocitométrica do tipo Fuchs & Rosenthal.

#### 4.3.3. OBTENÇÃO DOS POLISSACARÍDEOS A PARTIR DAS CULTURAS

Os polissacarídeos foram obtidos por volta do 60º dia de cultivo, quando os garrafões foram desconectados dos aeradores. Após as desativações, as culturas foram centrifugadas para a separação das células algais dos sobrenadantes (polissacarídeos) (Figura 6). Após, os sobrenadantes foram submetidos a um filtrador tangencial de cartucho de “fibras ocas” para as separações dos polímeros em duas frações: com massas moleculares altas ( $MM > 10$  KDa) e baixas ( $MM < 10$  KDa). Depois das separações, os polissacarídeos foram concentrados em evaporador rotatório, a temperatura de 40°C.

#### 4.3.4. ROMPIMENTO DAS CÉLULAS

A lise das células das algas é um processo muito importante nos ambientes aquáticos. A morte fisiológica e lise subsequente de células de fitoplâncton pode ser

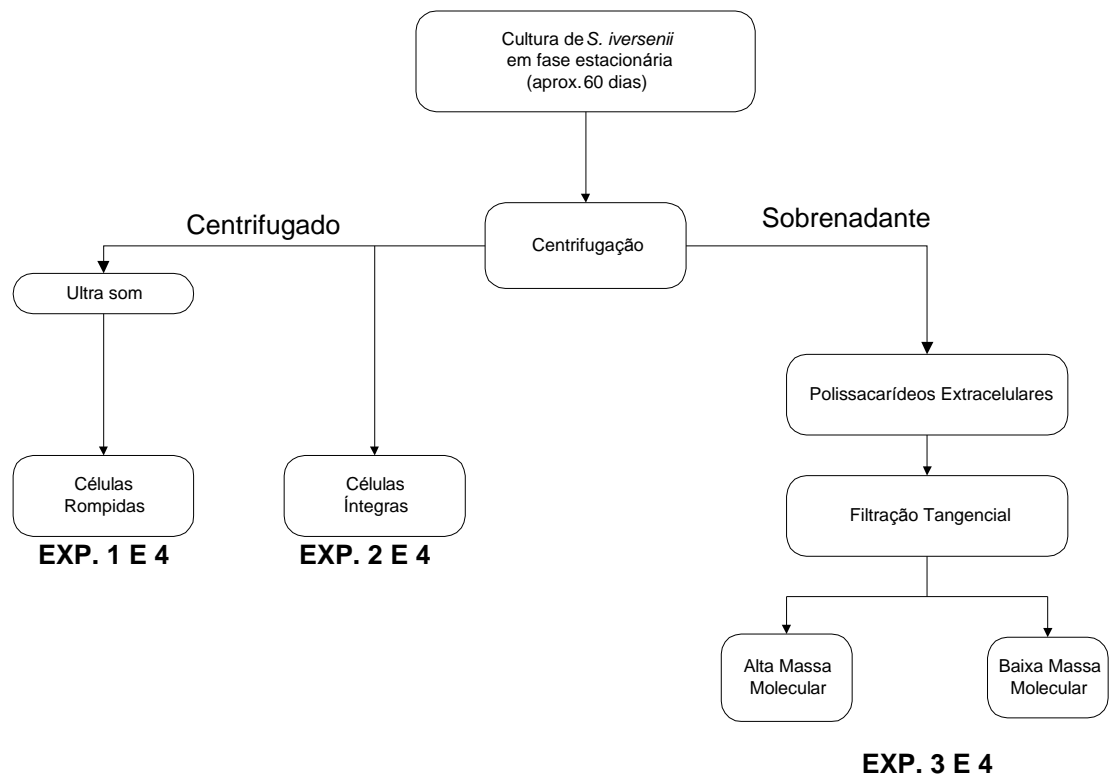


FIGURA 6 - Diagrama esquemático dos processos de obtenção das células algais e dos polissacarídeos, utilizados nos experimentos de decomposição.

resultado de vários fatores: ataque parasitário (por vírus, bactérias e fungos) ou exposição a extremos fisiológicos de luz, temperatura, concentrações de nutrientes e de substâncias tóxicas (AGUSTÍ *et al*, 1998). Para efetuar o processo de lise (ou seja o rompimento de células) foi utilizado um aparelho de ultra som (marca MG, modelo P-100), com ponteira com uma amplitude de 30  $\mu$  durante 30 min.

#### **4.4. COLETAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO**

As coletas das amostras de água foram realizadas com auxílio de garrafa de *Van Dorn*, em três profundidades distintas (superfície, meio e fundo). Em seguida, as amostras foram misturadas.

Durante as coletas de amostras de água (julho/2000, fevereiro/2001 e julho/2001) algumas variáveis físicas e químicas (temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, pH, temperatura) foram determinadas diretamente, utilizando-se uma sonda múltipla (Horiba modelo, U22-23), as leituras foram realizadas a cada dois metros a partir da superfície.

#### **4.5. OS EXPERIMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO**

Foram realizados, em laboratório, três experimentos de decomposição, no primeiro utilizaram-se células rompidas de *S. iversenii*, o segundo células íntegras desta alga e o terceiro, polissacarídeos (de alta e baixas massas moleculares) excretados por esta espécie. Um quarto experimento foi realizado, complementarmente, para registrar os consumos de oxigênio durante as mineralizações dos recursos (células íntegras, rompidas e polissacarídeos) (Figura 6).

#### 4.5.1. DECOMPOSIÇÃO DAS CÉLULAS ROMPIDAS DE *S. iversenii*

Para este experimento foram selecionadas quatro temperaturas de incubação que foram:  $17,7 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ ;  $20,3 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ;  $22,4 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$  e  $27,0 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$  (Anexos 1 a 4). Os meios foram mantidos em diferentes condições de oxigenação (valores médios: baixa concentração de oxigênio dissolvido =  $1,50 \pm 0,26$  mg/l; alta concentração de oxigênio dissolvido =  $6,93 \pm 1,04$  mg/l) (Anexo 13).

Para cada temperatura foram preparadas 10 câmaras de decomposição contendo 400 ml de alíquotas água do reservatório de Barra Bonita (previamente filtradas em lã de vidro) e as misturas de células rompidas. Nas câmaras com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), no início, borbulhou-se nitrogênio, para que as concentrações fossem mantidas abaixo de 2,0 mg/l, enquanto que nas demais, foi aduzido ar comprimido, para que as concentrações de OD atingissem valores próximos da saturação. Todas as câmaras foram revestidas com papel alumínio para impedir a interferência de processos fotossintéticos. A cada dia de amostragem (0, 1, 3, 5, 10, 20, 30, 60, 90 e 120), para cada temperatura e condição, uma câmara foi desativada e as concentrações de carbono (orgânico e inorgânico) foram determinadas com analisador específico (TOC-5000A, Shimadzu - temperatura de queima  $680^{\circ}\text{C}$ ). O pH e as concentrações de OD foram também registrados nestes dias de amostragem. Os valores de pH foram determinados potenciometricamente (Digimed DMPH-2) e as concentrações de oxigênio dissolvido com oxímetro (YSI - modelo 58).

Através de processos sucessivos de quantificação de carbono e filtração em membrana de acetato de celulose  $2,0\ \mu\text{m}$  (Millipore) obtiveram-se as estimativas de carbono orgânico particulado (COP). Posteriormente filtrando as mesmas amostras (o filtrado) em membrana de  $0,22\ \mu\text{m}$  (acetato de celulose, Millipore) obtiveram-se as concentrações do carbono orgânico do bacterioplâncton (COB) e dissolvido (COD)

(Figura 7). A concentração inicial de carbono orgânico para o experimento com as células rompidas foi de 38,09 mg/l, descontada a concentração inicial da amostra de água do reservatório (frasco controle).

Com o restante do material das câmaras de decomposição e com alíquotas de água do reservatório de Barra Bonita foram realizadas quantificações de alguns compostos. Para tanto, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e guardadas em congelador (-20°C) para análises posteriores. Alíquotas das amostras foram filtradas para as determinações de compostos dissolvidos (amônia, nitrato e nitrito) e os restantes foram utilizados para as análises de fósforo total e de nitrogênio orgânico total.

As determinações das concentrações de nitrogênio orgânico total foram realizadas através o método modificado de Kjeldahl (MACKERETH *et al.*, 1978). As determinações de nitrato e de fósforo foram efetuadas por colorimetria (MACKERETH *et al.*, 1978). Para as determinações de amônio foi utilizada a técnica descrita por KOROLEFF (1976).

As concentrações de nitrito foram determinadas de acordo com os procedimentos sugeridos por STRICKLAND & PARSON (1960).

#### **4.5.2. DECOMPOSIÇÃO DAS CÉLULAS ÍNTEGRAS DE *S. iversenii***

Este experimento teve como objetivo verificar os processos de mineralização aeróbia (sob concentrações baixas e elevadas de oxigênio dissolvido) das células íntegras de *S. iversenii*. Os mesmos procedimentos experimentais anteriormente relacionados (item 4.5.1.) foram adotados (dias amostrais, determinações químicas, etc.). As quantificações de carbono foram feitas em membrana de acetato de celulose de 0,22 µm, para obtenção das frações de carbono orgânico particulado (COP) e dissolvido (COD). Este experimento foi realizado nas seguintes temperaturas: 18,2 ±

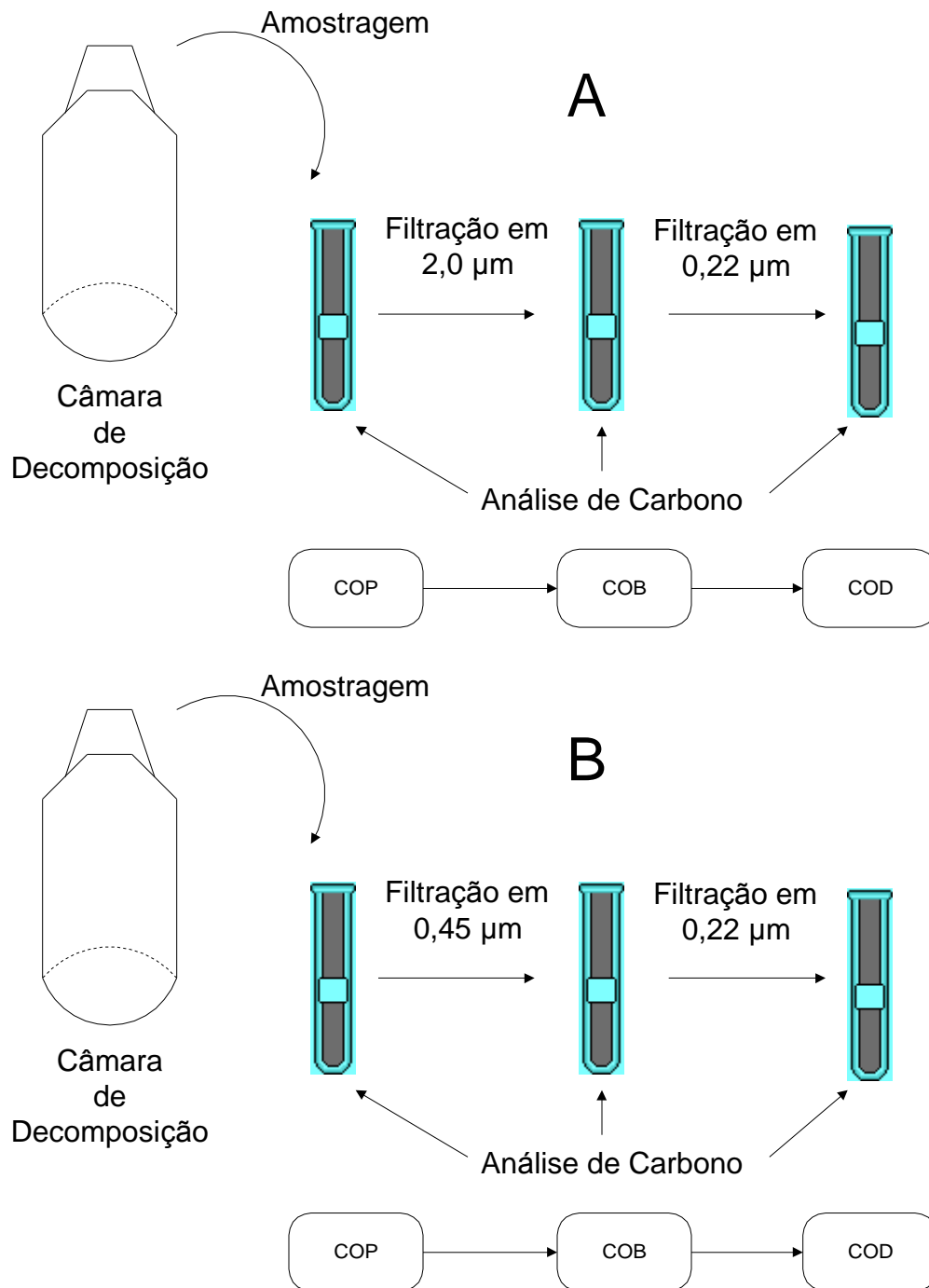


FIGURA 7 - Diagrama esquemático dos procedimentos adotados nos experimentos de decomposição de células algais íntegras e rompidas (A) e dos polissacarídeos (B) excretados por *S. iversenii*.



2,0°C;  $21,4 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ;  $24,8 \pm 1,4^\circ\text{C}$  e  $26,8 \pm 2,5^\circ\text{C}$  (Anexos 5 a 8). A concentração inicial de carbono orgânico para este experimento foi de 37,26 mg/l. Os frascos foram mantidos em diferentes condições de oxigenação (valores médios: baixas concentrações de OD =  $1,51 \pm 0,25$  mg/l; concentrações elevadas de OD =  $6,87 \pm 0,94$  mg/l) (Anexo 14).

#### **4.5.3. DECOMPOSIÇÃO DOS POLISSACARÍDEOS**

No terceiro experimento de decomposição foram utilizados polissacarídeos com altas e baixas massas moleculares, excretados por *S. iversenii*.

Foram preparadas 8 câmaras para cada tipo de polissacarídeos (baixas e altas massas moleculares); cada frasco conteve 400 ml de solução de polissacarídeos em água do reservatório de Barra Bonita (previamente filtrada em lã de vidro). Para as câmaras contendo polissacarídeos de massa molecular alta a concentração inicial de carbono orgânico foi de 21,98 mg/l; para as câmaras com polissacarídeos com baixa massa molecular a concentração inicial de carbono orgânico foi de 26,18 mg/l. As câmaras foram incubadas nas seguintes temperaturas:  $19,3 \pm 1,9^\circ\text{C}$ ;  $23,8 \pm 1,2^\circ\text{C}$ ;  $25,4 \pm 0,6^\circ\text{C}$  e  $28,1 \pm 1,0^\circ\text{C}$  (Anexos 9 a 12).

Nos dias de amostragem (0, 1, 3, 5, 10, 20, 30, 60, 90, e 120) foram retiradas alíquotas de cada câmara para as determinações das concentrações de carbono (orgânico e inorgânico) de acordo com os procedimentos experimentais descritos no item 4.5.1.. Em paralelo, foram preparadas 8 câmaras para as retiradas de amostras (10,0 ml) para análise de monossacarídeos por cromatografia (HPLC-PAD).

##### **4.5.3.1. CROMATOGRAFIA A GÁS-LÍQUIDO**

As determinações dos monossacarídeos do PED (Polissacarídeos Extracelular Dissolvido) foram determinadas através da cromatografia a gás-liquido, segundo a

metodologia de SWEeley *et al.* (1963) e CHAPLIN & KENNEDEY (1994). Amostra de 1mg de polissacarídeos liofilizados (somente do dia zero) foi submetida a uma reação de metanólise (durante 20 h) em estufa (80°C), com 1 ml de solução 1M HCl/metanol anidro. Depois, foram adicionadas 250 µg de manitol, que é empregado como padrão interno. Após a metanólise, a amostra foi seca com N<sub>2</sub>, lavada com metanol anidro (200µl) por três vezes e colocada em dessecador na estufa (60°C por 2 h) para a secagem completa. Depois, a amostra foi derivatizada com 0,5 ml de TMS (hexametildisilazana + trimetilclorosilano + piridina anidra, na proporção de 2:1:3), agitada por 30 segundos em “vortex” e deixada em repouso por 30 min. Amostras com diferentes alíquotas de vários padrões de monossacarídeos receberam o mesmo tratamento para posterior utilização na identificação e quantificação dos monossacarídeos componentes dos polissacarídeos de *S. iverseii*. Alíquotas de 1µl das amostras de monossacarídeos derivatizados foram injetadas em um cromatógrafo (HP mod. 5890, série II), equipado com uma coluna J & W Scientific DB-5. O detector usado foi o FID (detector de ionização de chama). O programa de temperatura empregado foi: temperatura inicial de 140°C; primeira rampa (aumento de 1 °C/min) até 160 °C; segunda rampa (aumento de 6 °C/min) até 250 °C e terceira rampa (aumento de 20 °C/min) até 300°C. A temperatura do injetor foi de 280 °C e a do detector de 300 °C. Os monossacarídeos foram identificados através de comparação com os tempos de retenção dos padrões e quantificados através das áreas dos picos em relação àquelas obtidas por cromatografia de diferentes alíquotas de padrões.

#### **4.5.3.2. CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA PERFORMANCE E DETECÇÃO POR PULSO AMPEROMÉTRICO (HPLC-PAD)**

A partir das câmaras preparadas para as análises em HPLC-PAD, as amostras (10 ml) foram hidrolizadas com 350 µl de HCl (8M) a 100 °C por 12 horas (GREMM &

KAPLAN, 1997). Tanto os carboidratos poliméricos (após a hidrólise), como os açúcares livres foram dessalinizados em colunas de troca iônica (AG50W e AG2X8 Bio-Rad®), conforme os procedimentos descritos por GIROLDO, 1998.

As amostras dessalinizadas foram injetadas em um cromatógrafo acoplado a um detector de carboidratos por pulsos amperométricos (JØRGENSEN & JENSEN, 1994; GREMM & KAPLAN, 1997).

#### **4.5.4. O CONSUMO DE OXIGÊNIO**

Este experimento teve como objetivo descrever o consumo de oxigênio a partir da degradação aeróbia das células (rompidas e íntegras) e dos polissacarídeos (de alta e baixa massas moleculares). Foram determinadas também as relações estequiométricas globais entre as quantidades de carbono oxidado e de oxigênio consumido.

Para cada temperatura foram preparadas 8 câmaras de mineralização. As temperaturas selecionadas foram as mesmas que as descritas para os demais experimentos (itens 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3). Para cada recurso e testemunha (água proveniente do reservatório de Barra Bonita) foram destinados dois frascos.

As soluções foram mantidas em frascos escuros com boca esmerilhada, as concentrações de oxigênio dissolvido e a temperatura, foram determinadas através de oxímetro. Dependendo do tipo de recurso, as medidas de oxigênio foram obtidas durante 54 dias (células rompidas), 73 dias (células íntegras) e 52 dias (polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares). Quando as concentrações de OD encontravam-se abaixo de 2,0 mg/l os frascos foram novamente oxigenados até que as soluções atingissem concentrações de OD próximas à saturação. No período inicial de cada experimento as concentrações de oxigênio foram determinadas diariamente e depois foram espaçadas. Foram realizadas determinações iniciais e finais das concentrações de carbono (orgânico e inorgânico) para cada frasco.

## 4.6. MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS

Os modelos matemáticos constituem um importante instrumento para a análise e pesquisa das mudanças nos sistemas ambientais, sendo representados por parâmetros e constantes matemáticas (CHRISTOFOLETTI, 1999) e são definidos por equações ou relações funcionais (ODUM, 1985).

O uso da modelagem matemática na análise de dados experimentais permite a discussão de hipóteses (informações) para elucidação das tendências gerais do sistema estudado, para fazer comparações quantitativas e também para interpretar quantitativamente as interações complexas existentes no sistema (STRASKRABA, 1973).

Considerando a importância do processo de degradação do fitoplâncton e dos seus produtos de excreção para o funcionamento e a manutenção da cadeia trófica de ecossistemas aquáticos, neste estudo os modelos matemáticos foram formulados para: 1) verificar a influência de fatores abióticos relacionados com a degradação dos recursos provenientes de *S. iversenii*; 2) avaliar as mineralizações do carbono, provenientes de células algais e de polissacarídeos excretados e 3) descrever as tendências gerais do processo de decomposição no reservatório de Barra Bonita.

### 4.6.1 EQUAÇÃO CINÉTICA DO CRESCIMENTO DE *S. iversenii*

Os processos de crescimento dos organismos podem ser descritos matematicamente por meio de equações. Os modelos podem fornecer informações sobre tempo de duplicação da espécie, biomassa e explicar os fatores que tendem a influenciar tanto o crescimento como a senescência (SAIA & BIANCHINI, Jr. 1998). A curva logística (KREBS, 1972) foi o modelo utilizado para descrever o número de indivíduos *S. iversenii* (Equação 1).

$$N = \frac{K}{1 + e^{(a - r_m t)}} \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

$$a = l_n \left( \frac{K - N_o}{N_o} \right) \dots\dots\dots (\text{Eq. 2})$$

Onde:

- K = Capacidade suporte do meio (biomassa ou nº de indivíduos);
- e = Base logaritmo natural;
- t = Tempo (dia);
- r<sub>m</sub> = Coeficiente de crescimento (dia<sup>-1</sup>);
- a = Constante de integração;
- N = Tamanho ou biomassa da população.

#### 4.6.2 EQUAÇÕES CINÉTICAS DA DECOMPOSIÇÃO DE *S. iversenii*.

Considerando as câmaras de decomposição como sistemas fechados, em relação ao carbono orgânico (BIANCHINI Jr., 1999a), através da Equação 3 foi possível estimar as quantidades de carbono mineralizado. As concentrações do carbono orgânico consumido, foram determinadas pelas diferenças entre os valores iniciais de carbono orgânico e os remanescentes nas diferentes formas (carbono orgânico particulado, de bacterioplâncton e dissolvido).

$$COC = COT - (COP + COD + COB) \dots\dots\dots (\text{Eq. 3})$$

onde:

- COT = Carbono Orgânico Total, quantidade total de carbono orgânico adicionado no início do experimento;
- COP = Carbono Orgânico Particulado (x ≥ 2µm);
- COD = Carbono Orgânico Dissolvido. (x ≤ 0,22µm);
- COB = Carbono Orgânico do Bacterioplâncton (0,22µm ≤ x ≤ 2µm);
- COC = Carbono Orgânico Consumido (mineralizado).

Para as determinações dos coeficientes da decomposição de células rompidas de *S. iverseii* (item 4.5.1), as variações temporais de COD e COC foram ajustadas a modelos cinéticos de primeira ordem, de acordo com as hipóteses discutidas por BIANCHINI JR. & TOLEDO (1998) (Equações 4 e 5). As regressões foram realizadas através de método não linear (algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt) (PRESS, *et alii* 1993). Através das diferenças entre as concentrações iniciais e finais de COD foram calculados os coeficientes de conversão destes compostos. Os coeficientes de conversão de COC e os seus respectivos erros foram calculados a partir das regressões.

$$COD = COD_0 \times e^{-k_d t} \dots\dots\dots (Eq. 4)$$

onde:

- COD = Concentração de COD em função do tempo;
- COD<sub>0</sub> = Concentração inicial de COD;
- e = Base logaritmo natural;
- k<sub>d</sub> = Coeficiente de decaimento (dia<sup>-1</sup>);
- t = Tempo (dia).

$$COC = COC_{m\acute{a}x} \times (1 - e^{-k_M t}) \dots\dots\dots (Eq. 5)$$

onde:

- COC = Quantidade de COC em função do tempo;
- COC<sub>máx</sub> = Quantidade máxima do COC;
- e = Base logaritmo natural;
- k<sub>M</sub> = Coeficiente de mineralização (dia<sup>-1</sup>);
- t = Tempo (dia).

Para os experimentos de decomposição de células íntegras de *S. iverseii* (item 4.5.2) e dos polissacarídeos (item 4.5.3) admitiu-se que os recursos apresentaram composições heterogêneas (frações lábeis/solúveis e refratárias).

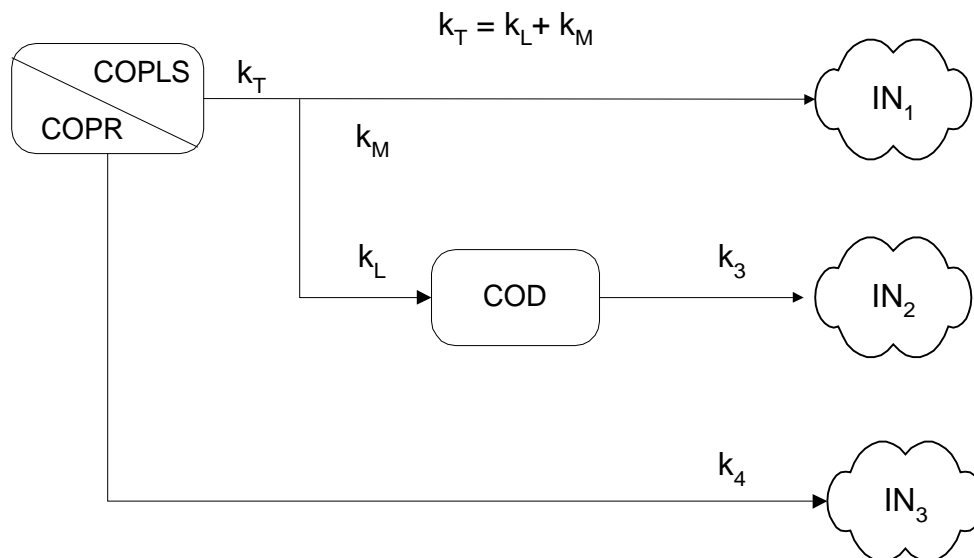


FIGURA 8 - Modelo cinético proposto para os processos de mineralização dos polissacarídeos e das células íntegras de *S. iverseii*. Onde: COPLS = carbono orgânico particulado lábil e/ou solúvel; COPR = carbono orgânico particulado refratário; COD = carbono orgânico dissolvido;  $k_T$  = coeficiente global de decaimento de COPLS ( $= k_s + k_M$ ;  $k_s$  = coeficiente de solubilização e  $k_M$  = coeficiente mineralização das frações lábeis);  $k_3$  = coeficiente de mineralização do COD;  $k_4$  = coeficiente de mineralização do COPR;  $IN_{1-3}$  = carbono orgânico mineralizado, segundo os coeficientes de mineralização ( $k_T$ ,  $k_3$  e  $k_4$ ) (BIANCHINI Jr., 1999a).

Desse modo, supôs-se que os processos de mineralização ocorreram por meio de 3 rotas (Figura 8). Na primeira (IN<sub>1</sub>), as oxidações desenvolveram-se rapidamente e em paralelo com o processo de dissolução das frações solúveis. A segunda rota (IN<sub>2</sub>) coube às oxidações dos compostos orgânicos dissolvidos (COD). A terceira rota (IN<sub>3</sub>) referiu-se às oxidações dos compostos orgânicos refratários (COPR). Para a representação destes eventos foram utilizadas as seguintes equações:

$$COP = COPLS \times e^{-k_T t} + COPR \times e^{-k_4 t} \dots\dots\dots (Eq. 6)$$

onde:

- COP = Carbono orgânico particulado remanescente;
- COPLS = Fração lábil/solúvel de COP;
- COPR = Fração refratária de COP;
- k<sub>T</sub> = Coeficiente global de decaimento de COPLS (k<sub>T</sub> = k<sub>L</sub> + k<sub>M</sub>; k<sub>L</sub> = coeficiente de lixiviação e k<sub>M</sub> = coeficiente mineralização das frações lábeis de COPLS);
- k<sub>4</sub> = Coeficiente de mineralização das frações refratárias.

$$IN_1 = COPLS \times \frac{k_M}{k_T} \times (1 - e^{-k_T t}) \dots\dots\dots (Eq. 7)$$

onde:

IN<sub>1</sub> = 1ª rota de mineralização.

$$COD = COPLS \times \frac{k_L}{k_T} \times \frac{k_T}{k_3 - k_T} \times (e^{-k_T t} - e^{-k_3 t}) \dots\dots\dots (Eq. 8)$$

onde:

- COD = Carbono orgânico dissolvido;
- k<sub>3</sub> = Coeficiente de mineralização de COD.

$$IN_2 = COPLS \times \frac{k_L}{k_T} \times \left\{ 1 + \frac{1}{k_T - k_3} (k_3 e^{-k_T t} - k_T e^{-k_3 t}) \right\} \dots\dots\dots (Eq. 9)$$



onde:

$IN_2 = 2^{\text{a}}$  rota de mineralização.

$$IN_3 = COPR \times (1 - e^{-k_4 t}) \dots \dots \dots (\text{Eq.10})$$

onde:

$IN_3 = 3^{\text{a}}$  rota de mineralização.

#### 4.6.3. EQUAÇÕES CINÉTICAS DO CONSUMO DE OXIGÊNIO

Para o experimento de consumo de oxigênio (item 4.5.4) foram utilizadas as Equações 11 e 12 para as determinações dos coeficientes de desoxigenação e do consumo máximo de oxigênio. A Equação 11 foi utilizada para descontar o consumo de oxigênio devido à oxidação da matéria orgânica do frasco testemunha (frasco com água do reservatório de Barra Bonita). Após a parametrização, esta função (Eq. 11) foi adicionada à Equação 12 para neutralizar o consumo de oxigênio da matéria orgânica dissolvida da amostra de água, frente aos consumos dos recursos em questão.

$$OC_{branco} = OC_{máx} \times k_1 \left( \frac{e^{-k_1 t}}{k_2 - k_1} + \frac{e^{-k_2 t}}{k_1 - k_2} \right) \dots \dots \dots (\text{Eq. 11})$$

Onde:

- $OC_{branco}$  = Oxigênio consumido (frascos testemunhas);
- $OC_{máx}$  = Quantidade máxima de oxigênio consumido;
- $k_1$  = Coeficiente de consumo oxigênio devido as oxidações da matéria orgânica do reservatório;
- $k_2$  = Coeficiente de oxigenação.

$$OC = OC_{máx} \times (1 - e^{-k_d t}) + OC_{branco} \dots \dots \dots (\text{Eq. 12})$$

Onde:

- $k_d$  = Coeficiente de desoxigenação.

O tempo de meia-vida dos coeficientes foi calculado de acordo com a seguinte

fórmula:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DO RESERVATÓRIO

Através das Figuras 9 a 13 observam-se as variações temporais da temperatura, da condutividade elétrica da água, do pH, das concentrações de oxigênio dissolvido e da turbidez da coluna d'água do reservatório de Barra Bonita. As coletas de água foram realizadas nos períodos de verão (mês de fevereiro/2001) e inverno (meses de julho de 2000 e 2001).

Nestas ocasiões não foram registradas variações acentuadas da temperatura, tais resultados sugerem que a coluna d'água comportou, no máximo, uma pequena estratificação na superfície. WISNIEWSKI (1998) verificou temperaturas de 30 °C durante o período chuvoso e de 19,1°C no período seco; durante os meses de coletas não foram determinadas neste estudo temperaturas tão elevadas. Porém, temperaturas mais baixas (17,0°C) foram observadas no mês de julho/00 (Figura 9). Comparando-se com o trabalho de GENTIL (1984) observa-se que os perfis térmicos registrados foram típicos dos períodos.

A condutividade elétrica da água relaciona-se com as concentrações de íons. Através da Figura 10 pode-se observar as variações temporais verificadas nos meses de coleta (210 a 310  $\mu\text{S/cm}$ ). GENTIL (1984) encontrou uma pequena variação dos valores (91,3 a 118,4  $\mu\text{S/cm}$ ). Uma maior variação foi determinada por WISNIEWSKI (1998) entre 61 e 291  $\mu\text{S/cm}$ . Os registros obtidos por CALIJURI (1988) para esta variável tiveram valores intermediários (inverno = 162  $\mu\text{S/cm}$ ; verão = 115  $\mu\text{S/cm}$ ). Quando comparados aos outros trabalhos, os valores obtidos neste estudo foram mais elevados, talvez os fatores climáticos tenham interferido sobre a coluna d'água, influenciando a concentração de íons. Para o período de coleta a condutividade elétrica apresentou uma grande oscilação na zona afótica nos meses de julho de 2000

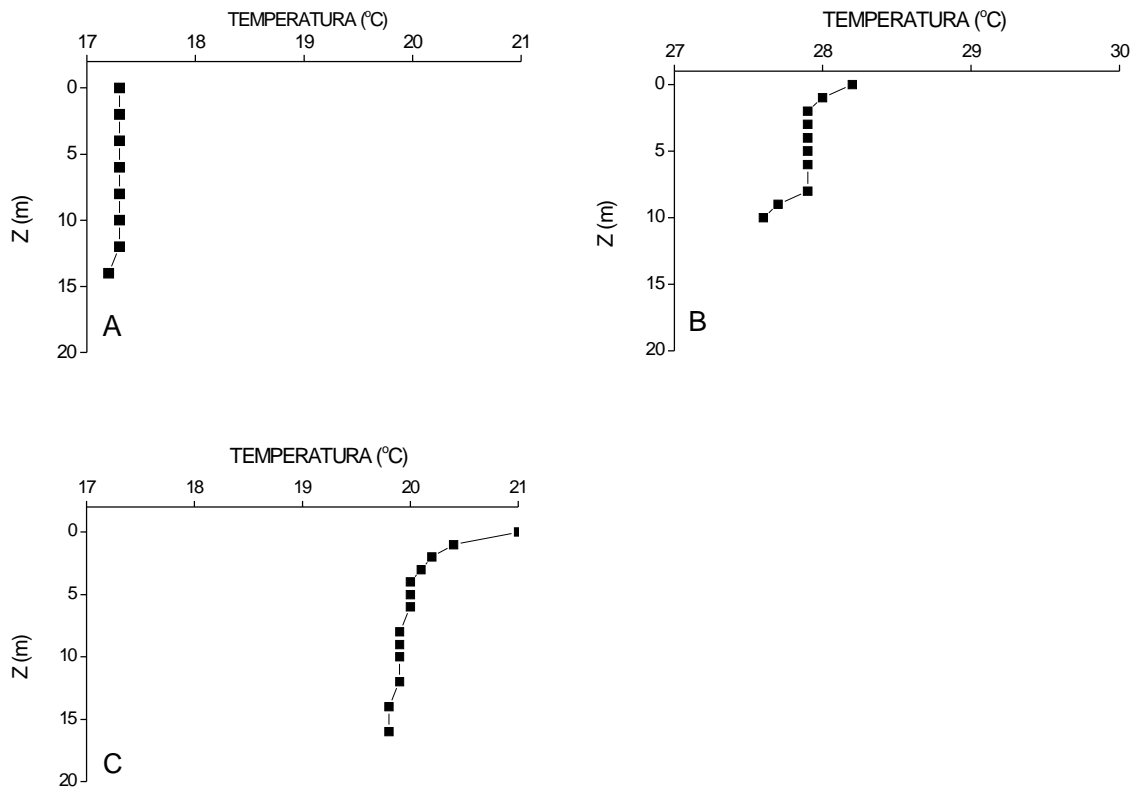


FIGURA 9 - Variações temporais e espaciais da temperatura nos dias de coletas, referentes aos meses (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001).

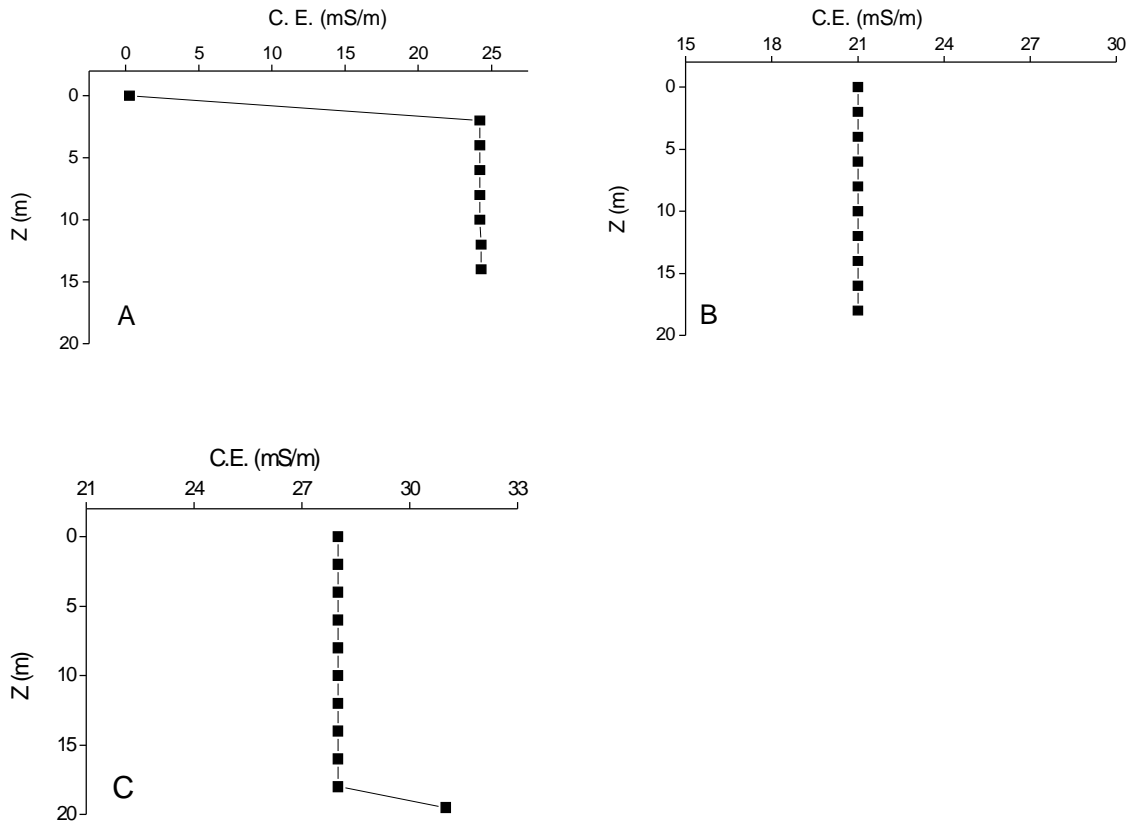


FIGURA 10 - Variações temporais e espaciais da condutividade elétrica nos dias de coletas, referentes aos meses (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001).

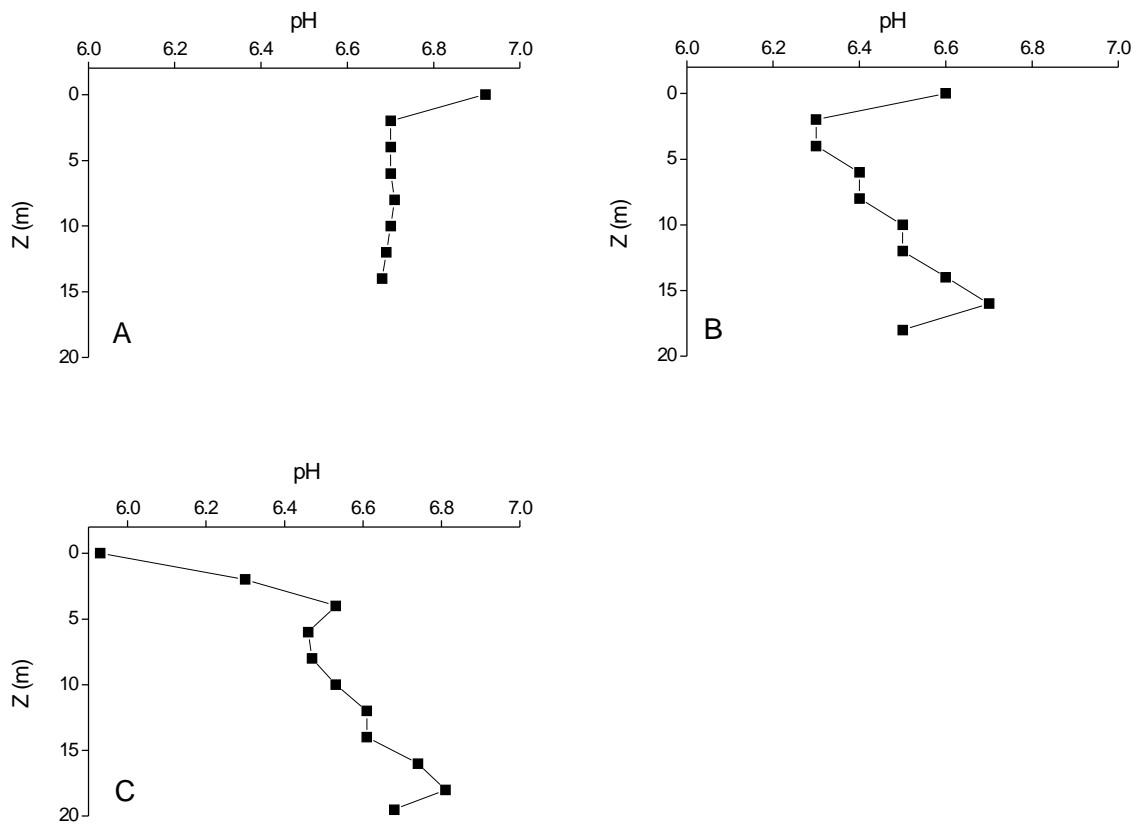


FIGURA 11 - Variações temporais e espaciais do pH nos dias de coletas, referentes aos meses (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001).

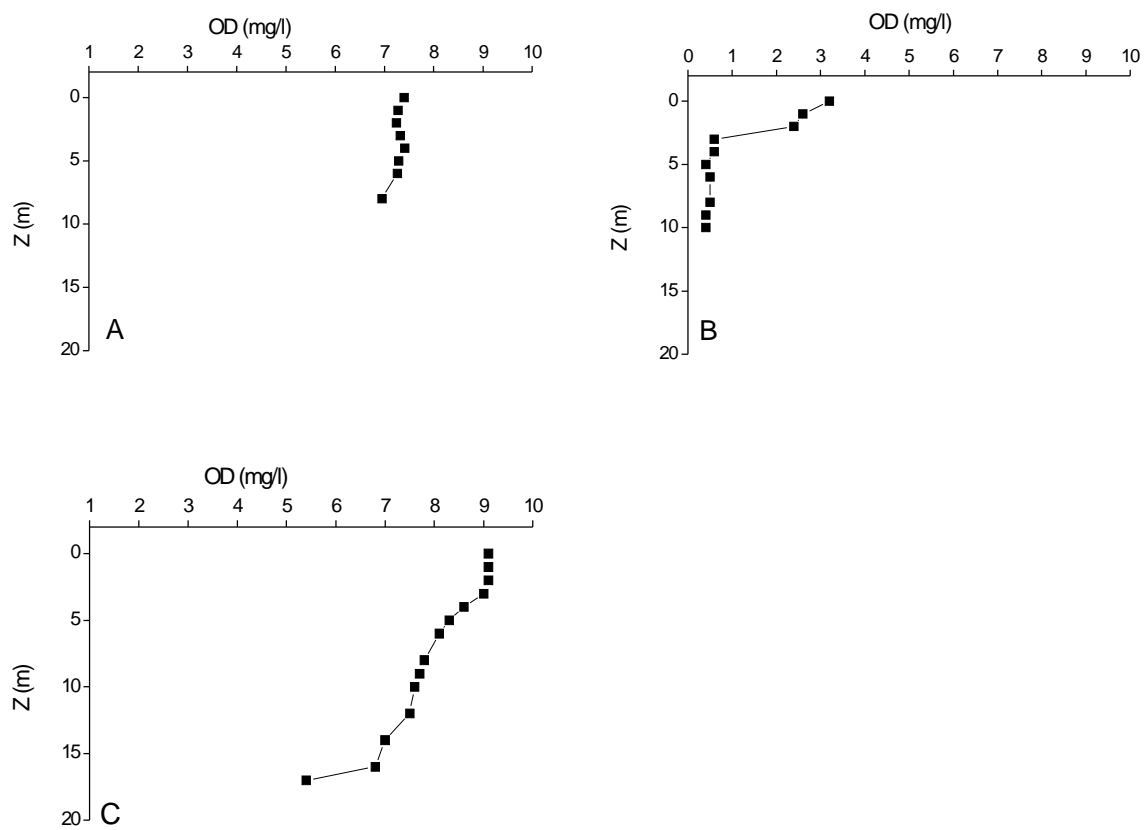


FIGURA 12 - Variações temporais e espaciais da das concentrações de oxigênio dissolvido nos dias de coletas, referentes aos meses (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001).

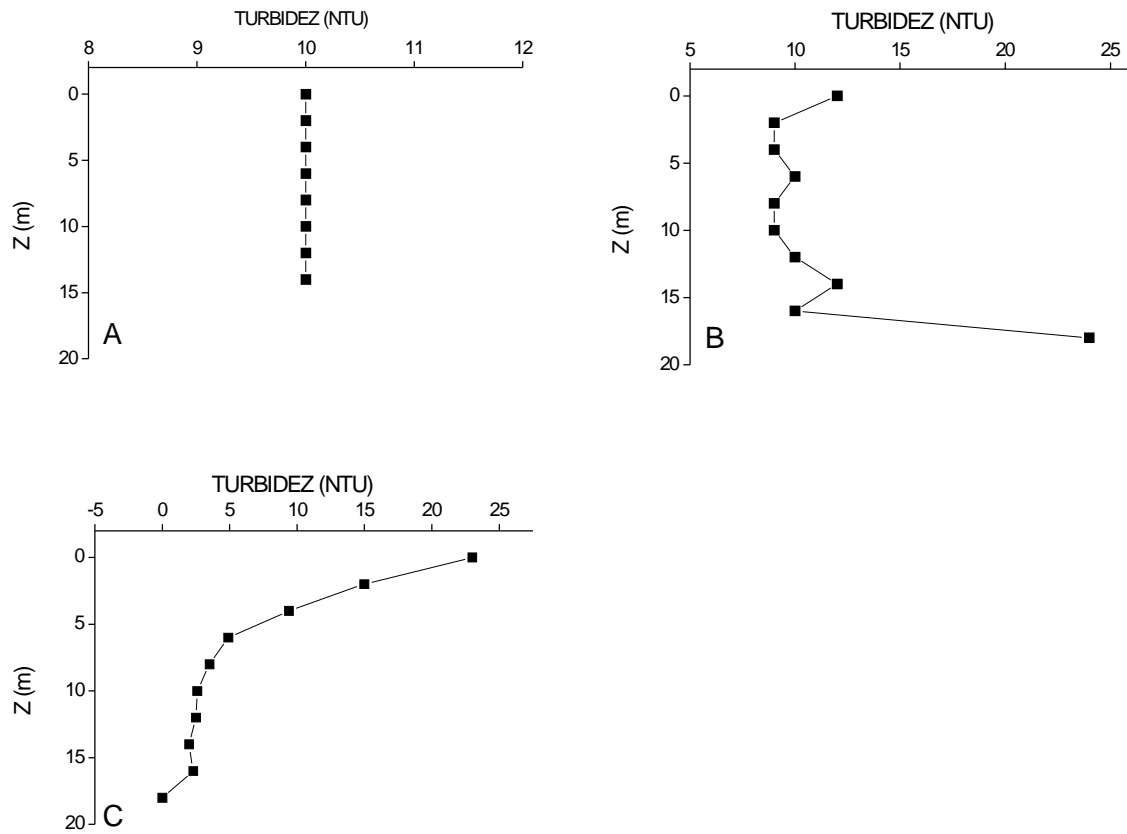


FIGURA 13 - Variações temporais e espaciais da turbidez nos dias de coletas, referentes aos meses (A: julho/2000; B: fevereiro/2001; C: julho/2001).



e de 2001.

Os valores dos perfis verticais de pH oscilaram entre 6,2 a 6,9, indicando que a coluna d'água manteve-se mais ácida (Figura 11) quando comparada com o verificado por GENTIL (1984) e por WISNIEWSKI (1998). De acordo com BROOK (1981) as desmídeas ocorrem em águas ácidas com pH variando entre 4,0 e 7,0, corroborando os resultados obtidos neste trabalho.

Enquanto que para as concentrações de OD, GENTIL (1984) encontrou um perfil clinogrado (no mês de novembro de 1979), CALIJURI (1988) determinou para esta variável, tanto para superfície como para o fundo, valores de concentração semelhantes aos que foram registrados por este trabalho nas coletas dos meses de fevereiro e de julho de 2001 (Figura 12). Durante os meses de coleta as concentrações de OD foram maiores na camada superficial e os menores valores foram determinados para os estratos mais profundos.

Na coleta de julho de 2000 os valores de turbidez foram baixos e não variaram em função da profundidade (Figura 13A). Nas demais coletas, os valores de turbidez apresentaram variações. Em fevereiro de 2001 o maior valor foi registrado no estrato entre 15 e 20 m. Em julho de 2001 os valores decresceram continuamente em função da profundidade (Figura 13 C).

## 5.2. O CRESCIMENTO DE *S. iversenii*

O crescimento típico das culturas de *Staurastrum iversenii*, em meio WC, está representado através da Figura 14. Para as condições experimentais adotadas, o crescimento ocorreu segundo o modelo sigmóide. Assim, é possível observar, de acordo com SAIA & BIANCHINI Jr. (1998), que houve a ocorrência de uma fase “lag”, na qual se supõe que tenha havido adaptações das células ao meio de cultura. Em torno do 10º dia ocorreu o início do desenvolvimento da fase “log” com o crescimento da população. Esta etapa perdurou até, aproximadamente, o 40º dia e depois, iniciou-se o período de estabilização, ou seja a fase estacionária.

O tempo de duplicação para esta espécie foi estimado em 6,6 dias. Ao se comparar estes resultados com os verificados para espécies pertencentes a mesma classe taxonômica, verifica-se que os obtidos são próximos aos registrados por DULCINI (1996) para *Staurastrum tohopekaligiensis*. Neste caso, verificou-se que a capacidade suporte foi atingida em aproximadamente 60 dias e o tempo de geração foi de 5 dias; para *Stauroidesmus convergens var. laportei* GOUVÊA (1998) registrou que crescimento ocorreu até o 56º dia, com um tempo de duplicação de 9,4 dias. Com base nestes resultados percebe-se que o tempo de crescimento e o tempo necessário para a estabilização (ou senescência) foram semelhantes, porém o tempo de geração apresentou uma maior variação entre as espécies (*Stauroidesmus convergens* = 9,4 dias e *S. iversenii* = 6,6 dias). PALMA (1996) determinou que o período de crescimento de *Nephrocytium lunatum* (Chlorococcales) foi de 26 dias com um tempo de duplicação de 2 dias. Para *Anabaena spiroides* (Cyanophyceae) cultivada em meio tamponado com TRIS, a etapa de crescimento exponencial foi em torno de 46 dias com um tempo de duplicação das células de 7,5 dias. Estes resultados foram verificados por PÍCCOLO (1999) e por COLOMBO (2001) para esta espécie de cianofíceas.

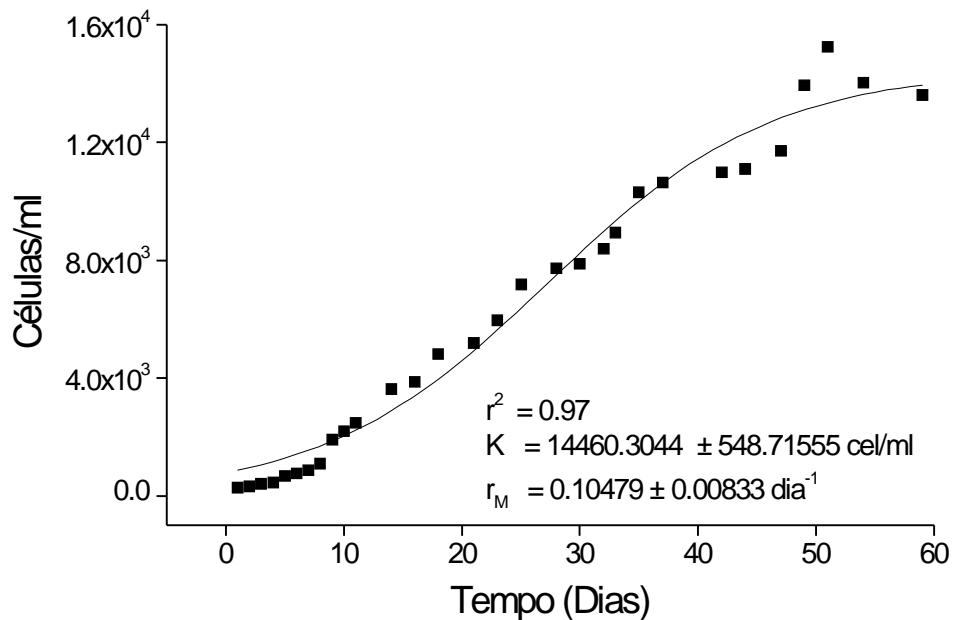


FIGURA 14 - Curva de crescimento de *Staurastrum iversenii* em meio WC completo, em condições controladas.

### 5.3. COMPOSIÇÃO MONOMÉRICA DO PED

Os monômeros identificados na cromatografia da amostra de polissacarídeos extracelulares dissolvidos (dia zero) foram: 1) hexoses: glicose, manose e galactose; 2) pentoses: ribose, arabinose e xilose; 3) desoxi-açúcares: ramnose e fucose e 4) os açúcares ácidos: ác. galacturônico e ác. glicurônico. De acordo com a Figura 15 nota-se que a galactose foi o açúcar predominante, seguido pela fucose e pelo ác. galacturônico. Para os demais açúcares as contribuições foram menores do que 10%.

ARNOSTI *et al.* (1994) referem-se à glicose como o açúcar mais abundante identificado em amostras de células planctônicas, de partículas e de sedimento. Desse modo, o teor de 6,2% de glicose verificado para a amostra do PED de *Staurastrum iversenii*, pode ser considerado baixo em comparação aos outros monômeros.

Os componentes moleculares dos polissacarídeos extracelulares são complexos e variados, tendo se verificado que são formados por xilose, galactose, glicose, ácidos galacturônico e glicurônico, entre outros. No entanto, a proporção destes açúcares pode sofrer interferência devido ao método empregado na identificação (BROOK, 1981; DULCINI, 1996).

Ao comparar a composição monomérica obtida com as dos polissacarídeos de *Staurastrum tohopekaligiensis* (DULCINI, 1996) e de *Stauroidesmus convergens var. laportei* (GOUVÊA, 1998) nota-se que não houve diferenças nas participações dos monômeros, mas nas proporções dos açúcares. *Anabaena spiroides* estudada por PÍCCOLO (1996) e por COLOMBO (2001) também apresentou diferenças na composição monomérica. Para a espécie *Chaetoceros affinis*, MYKLESTAD (1995) identificou três monômeros principais: a ramnose, a fucose e a galactose, sendo que os resíduos de ramnose foram encontrados no lado externo da molécula e as fucoses foram encontradas nas pontas das cadeias. Os açúcares determinados para o polissacarídeo de *S. iversenii* também foram similares ao encontrados por PAULSEN & VIEIRA (1994) para *Spondylosium panduriforme* isolada de uma lagoa do Rio Mogi-Guaçu.

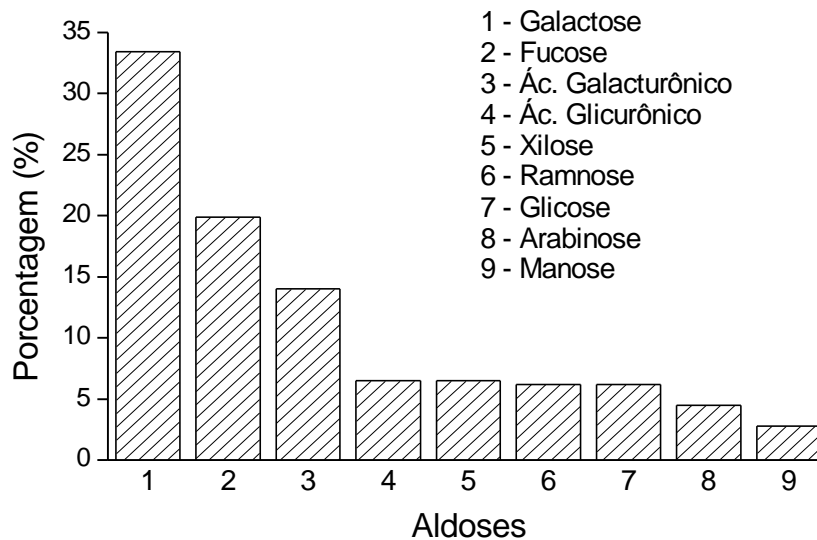


FIGURA 15 - Composição monomérica dos polissacarídeos excretados dissolvidos provenientes de cultura de *Staurastrum iversenii*.

Através da Figura 15 é possível notar a porcentagem de cada açúcar na composição do heteropolissacarídeo de *Staurastrum iversenii*. A galactose intracelular provavelmente está envolvida na biossíntese de pectina (REID, 1997), este mesmo açúcar também é encontrada na parede das células (extracelular) fazendo parte do conjunto de açúcares excretados. Segundo MACKIE & PRESTON (1974) a xilose e a manose são os principais açúcares que compõem a parede celular das algas. Estes monômeros ocorreram em porcentagens baixas. Para ARNOSTI *et al.* (1994) a glicose é o monômero mais abundante e ocorre em quantidades variáveis nas composições celulares do fitoplâncton; sendo geralmente, encontrado como substância de reserva. A quantidade e a qualidade de cada monômero vai depender do estágio de crescimento, da concentração de nutrientes e da luminosidade. A glicose provavelmente deve ser o monômero mais prontamente utilizado dentre as aldoses (HEDGES *et al.* 1994; BIERSMITH & BENNER, 1998).

DULCINI (1996) determinou que a fucose foi proporcionalmente o açúcar mais encontrado na composição dos polissacarídeos extracelulares dissolvidos e dos polissacarídeos capsulares para *Staurastrum tohopekaligiensis* e COLOMBO (2001) determinou para *Anabaena spiroides* que a glicose foi o açúcar mais abundante nos polissacarídeos extracelulares excretados.

Para FREIRE-NORDI & VIEIRA (1996) na fração dos polissacarídeos de alto peso molecular excretados por *Ankistrodesmus densus*, os açúcares dominantes foram: fucose, 3-O-metil galactose, glicose e ramnose. Para os polissacarídeos de baixo peso molecular, a composição foi semelhante diferindo apenas na percentagem dos açúcares.

#### 5.4. DECOMPOSIÇÃO DAS CÉLULAS ROMPIDAS DE *S. iversenii*

Através das Figuras 16 e 17 observa-se que as concentrações de carbono orgânico dissolvido dos detritos de *S. iversenii* decresceram rapidamente nos primeiros dias. Estes resultados sugerem que nesta etapa da decomposição tenha havido o predomínio do consumo das frações lábeis (formadas provavelmente pelos conteúdos protoplasmáticos). Após, os decaimentos tornaram-se mais lentos, provavelmente devido à degradação das paredes celulares, que são constituídas por celulose impregnada com pectina (BROOK, 1981), o que torna os recursos mais resistentes ao ataque bacteriano (frações refratárias). Este mecanismo foi bem descrito por OTSUKI & HANYA (1972a), que demonstraram que os compostos de difícil degradação, em particular, a celulose e a lignina, tendem a se acumular e com o desaparecimento dos compostos lábeis, resultam na maior parte dos detritos dos ambientes aquáticos. Descrevendo a decomposição da parede celular de algumas espécies fitoplanctônicas, GUNNISON & ALEXANDER (1975) observaram que algumas espécies de clorófitas são moderadamente ou altamente resistentes ao ataque microbiano. Tal resistência seria principalmente devida às substâncias excretadas; estes autores inferiram que a espécie *Staurastrum* sp não sofreu ataque microbiano durante o período de estudo por não excretar substâncias gelatinosas, ao contrário do verificado para *S. iversenii*, que possui uma densa camada de polissacarídeos extracelulares aderidos as paredes (FREIRE-NORDI com. pessoal). Provavelmente neste caso, a comunidade heterotrófica utilizou-se destes compostos orgânicos como fonte de carbono e energia. O mesmo foi verificado para a decomposição de culturas de *Chlorella salina*, a 30°C, na qual a primeira fração foi degradada em poucas horas e para a segunda estimou-se que poderia levar anos para decompor (CHAN, 1985). Este evento também foi verificado para mineralização de compostos húmicos de macrófitas aquáticas, para os quais houve intensos

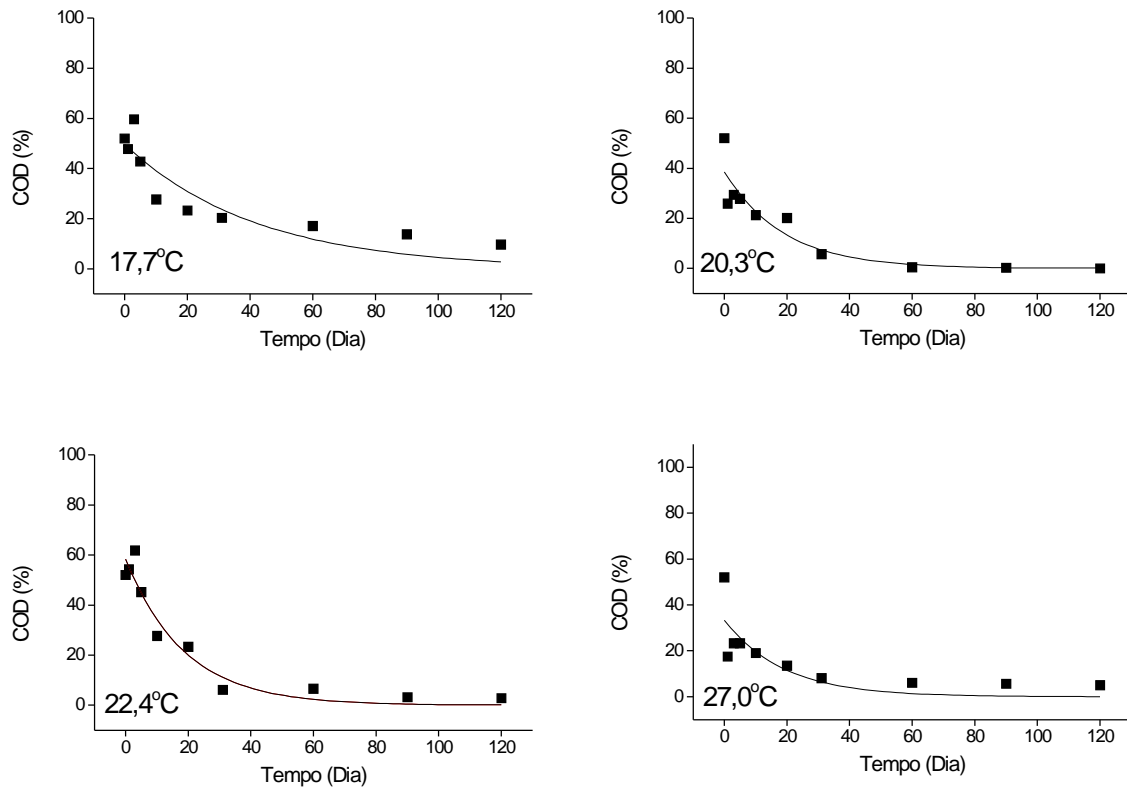


FIGURA 16 - Ajustes cinéticos dos decaimentos de COD na decomposição de células rompidas de *S. iverseii*, sob elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.



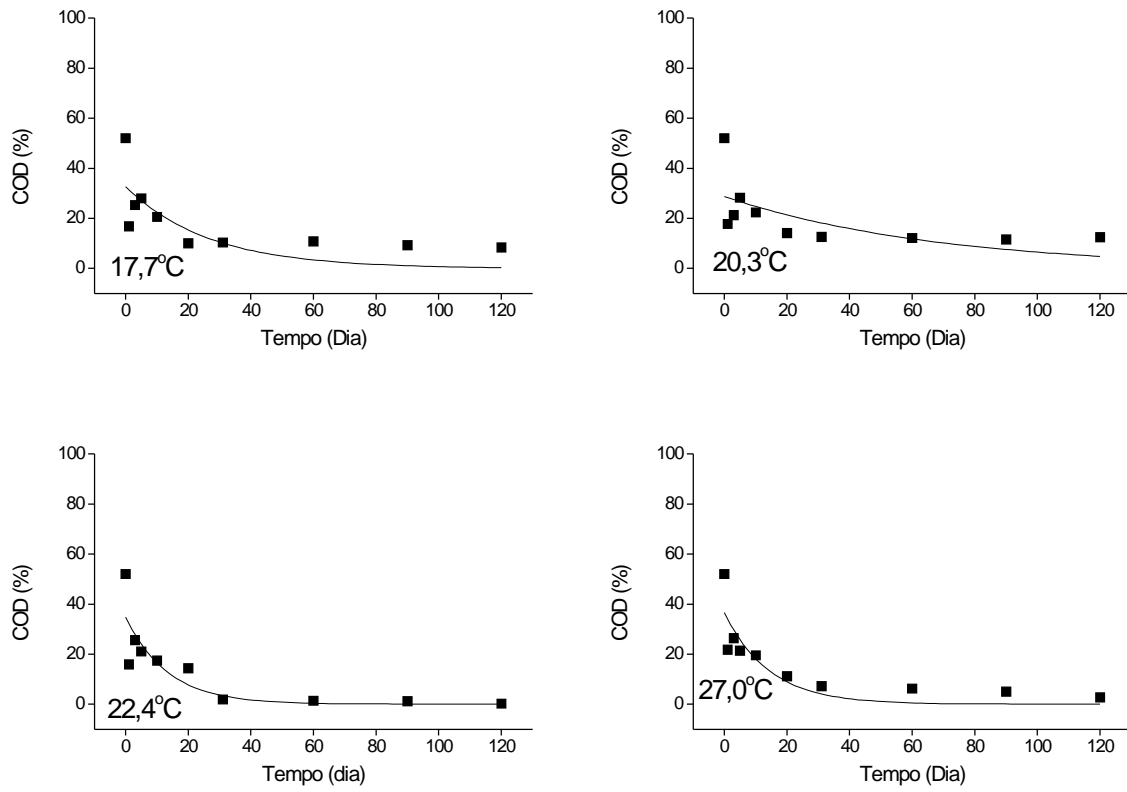


FIGURA 17 - Ajustes cinéticos dos decaimentos de COD na decomposição de células rompidas de *S. iversenii*, sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

consumos nos inícios dos processos de degradação (CUNHA, 1999).

Concentrações baixas de COD (zero e 0,19 %) foram verificadas no final das incubações a 20,3 e 22,4°C, para as condições altas e baixas concentrações de OD respectivamente; como as bactérias tendem a apresentar metabolismo mais rápido sob as temperaturas mais elevadas, talvez seja esse o motivo da ocorrência de valores de concentrações tão baixos. Para a condição com alta concentração de oxigênio na temperatura de 17,7°C foi determinado o menor valor para o coeficiente de decaimento ( $k_d$ ) do COD (0,023 dia<sup>-1</sup>); o valor mais elevado (0,075 dia<sup>-1</sup>) foi verificado para a temperatura de 22,4°C, na condição de baixa oxigenação. Nesse contexto, um menor valor para o coeficiente de mineralização ( $k_M = 0,0156$  dia<sup>-1</sup>) foi registrado para a decomposição aeróbia de células de *Scenedesmus* (OTSUKI & HANYA, 1972a). Com base no método de perda de massa, valores intermediários de coeficientes de decaimento (de 0,01 até 0,15 dia<sup>-1</sup>) foram obtidos por FOREE & McCARTY (1970) para decomposição anaeróbia de culturas heterogêneas e unialgais, a 20°C.

Para as mineralizações de culturas de algas jovens JEWELL & McCARTY (1971) obtiveram coeficientes de decaimento que variaram de 0,01 a 0,06 dia<sup>-1</sup>. Para as culturas com algas senescentes, os coeficientes oscilaram entre 0,01 e 0,03 dia<sup>-1</sup>. Tais valores foram mais baixos do que os obtidos para as mineralizações do carbono no experimento de decomposição realizado com as células rompidas de *S. iversenii*, em todas as temperaturas e condições testadas

Independente da temperatura e da disponibilidade de oxigênio, as mineralizações foram rápidas nos primeiros dias, até por volta do 20º dia, quando se notou a tendência de estabilização dos processos, sendo que para a condição com baixa oxigenação a 27,0°C foi estimado o maior coeficiente de mineralização (0,734 dia<sup>-1</sup>) e para a incubação com elevada concentração de OD a 20,3°C, o menor (0,086 dia<sup>-1</sup>) (Figuras 18 e 19).

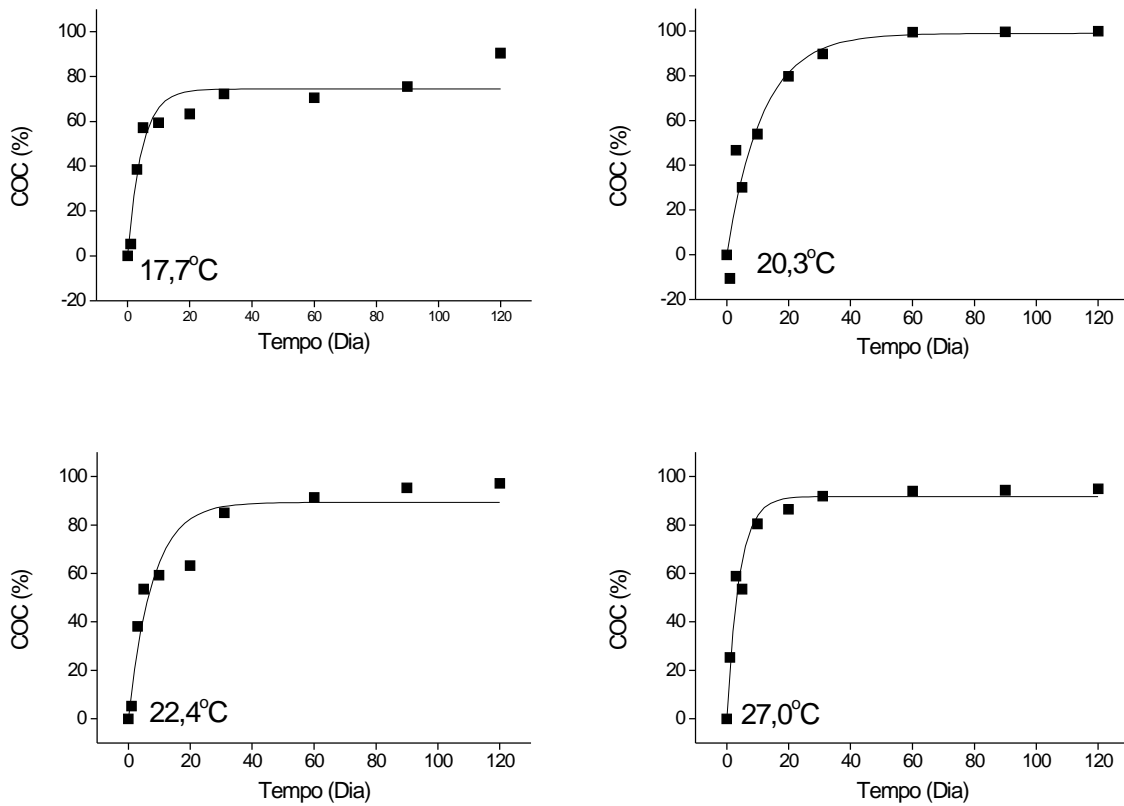


FIGURA 18 - Ajustes cinéticos das formações de COC na decomposição de células rompidas de *S. iverseii*, sob elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

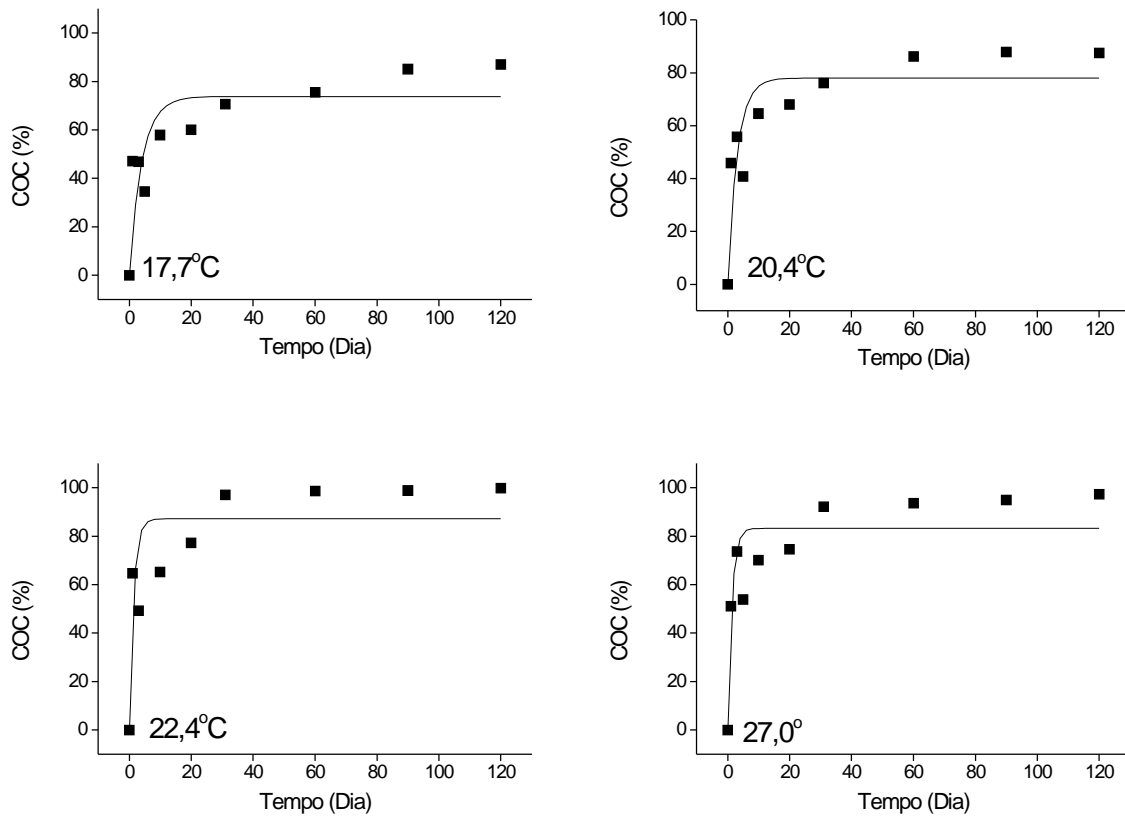


FIGURA 19 - Ajustes cinéticos das formações de COC na decomposição de células rompidas de *S. iverseii*, sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

A partir de compilação realizada por BIANCHINI Jr. (1999a) registraram-se para os exudatos de *Ankistrodesmus densus*, coeficientes de mineralização que variaram entre 0,027 a 0,094 dia<sup>-1</sup>; valores semelhantes foram obtidos neste estudo de mineralização de células rompidas de *S. iversenii*.

Em experimentos de laboratório de degradação de glicose (ANTONIO, 1992) coeficientes mais elevados de decaimento foram observados tanto para a condição aeróbia (0,309 dia<sup>-1</sup>) quanto para a anaeróbia (0,144 dia<sup>-1</sup>), demonstrando que as degradações desta hexose foram mais rápidas do que as dos componentes protoplasmáticos e de resíduos de células rompidas de *S. iversenii*.

Comparando-se os resultados apresentados através da Figura 20 (A e C) é possível verificar que os consumos de COD nos processos com baixas concentrações de oxigênio foram mais rápidos, uma vez que os valores de k foram mais elevados, evidenciando que as concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido não intensificaram a degradação das frações dissolvidas das células de *S. iversenii*. No entanto, o rendimento médio de conversão do COC foi maior no processo sob elevadas concentrações de OD (valor médio = 88,6 %). Estes resultados sugerem que embora relativamente mais lenta, a degradação estritamente aeróbia (Figura 21 B) privilegiou a formação de CO<sub>2</sub> em detrimento da possível formação de compostos dissolvidos intermediários (produtos de ressíntese). Por outro lado, os processos sob baixas concentrações de oxigênio (Figura 17) foram mais rápidos e, em média, geraram mais compostos dissolvidos remanescentes (valor médio: 19,5%). Supõe-se que tais compostos tenham sido transformados em compostos húmicos, uma vez que estas substâncias são constituídas por moléculas complexas e grandes, formadas a partir de condensações ou polimerizações (enzimáticas ou químicas) de produtos relativamente simples da decomposição e em geral, são refratárias (ERTEL, 1970; HAUTALA, 1977; CUNHA-SANTINO & BIANCHINI Jr., no prelo). Nesse contexto, o rendimento de conversão do COD para compostos residuais ou do metabolismo

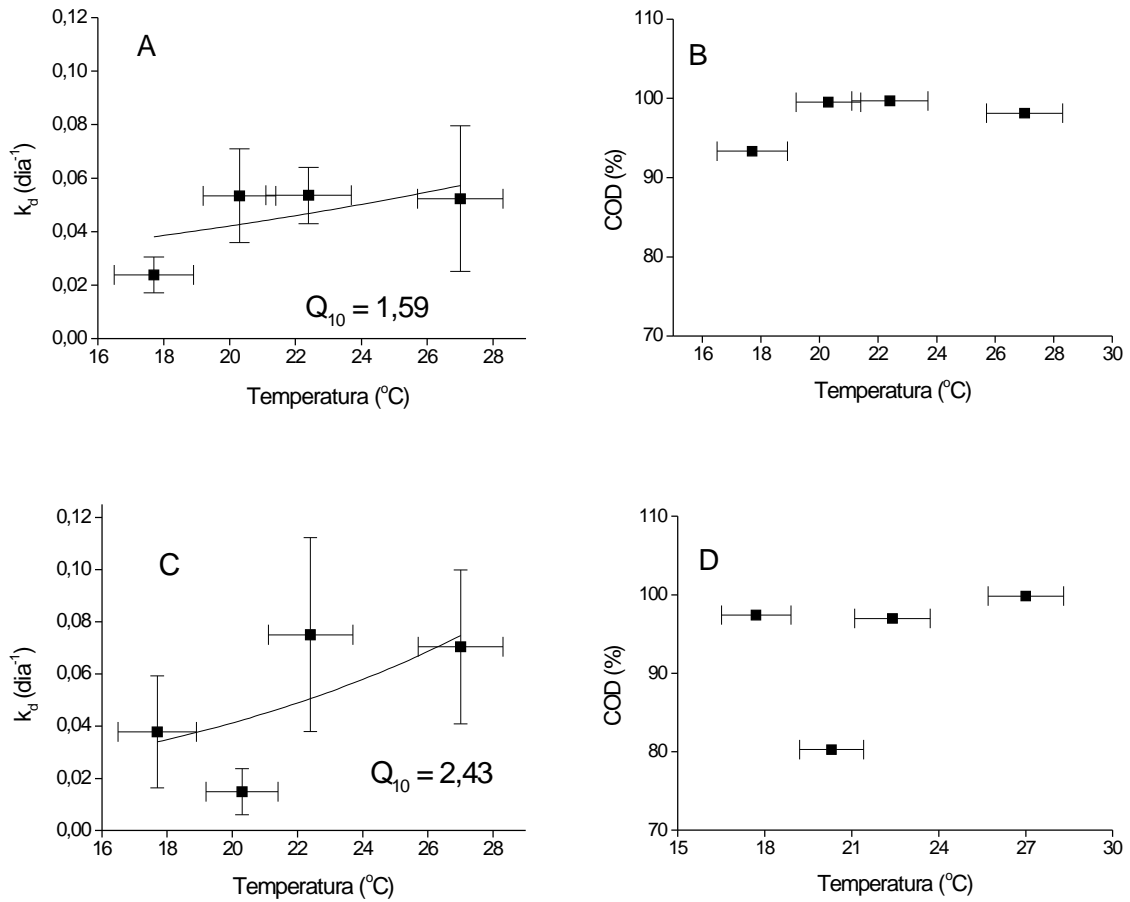


FIGURA 20 – Coeficientes de decaimento e percentagens de conversão de carbono orgânico dissolvido, em função da temperatura e da condição experimental (em concentração alta de oxigênio: A e B; concentração baixa de oxigênio: C e D), durante a decomposição de células rompidas de *S. iversenii*.

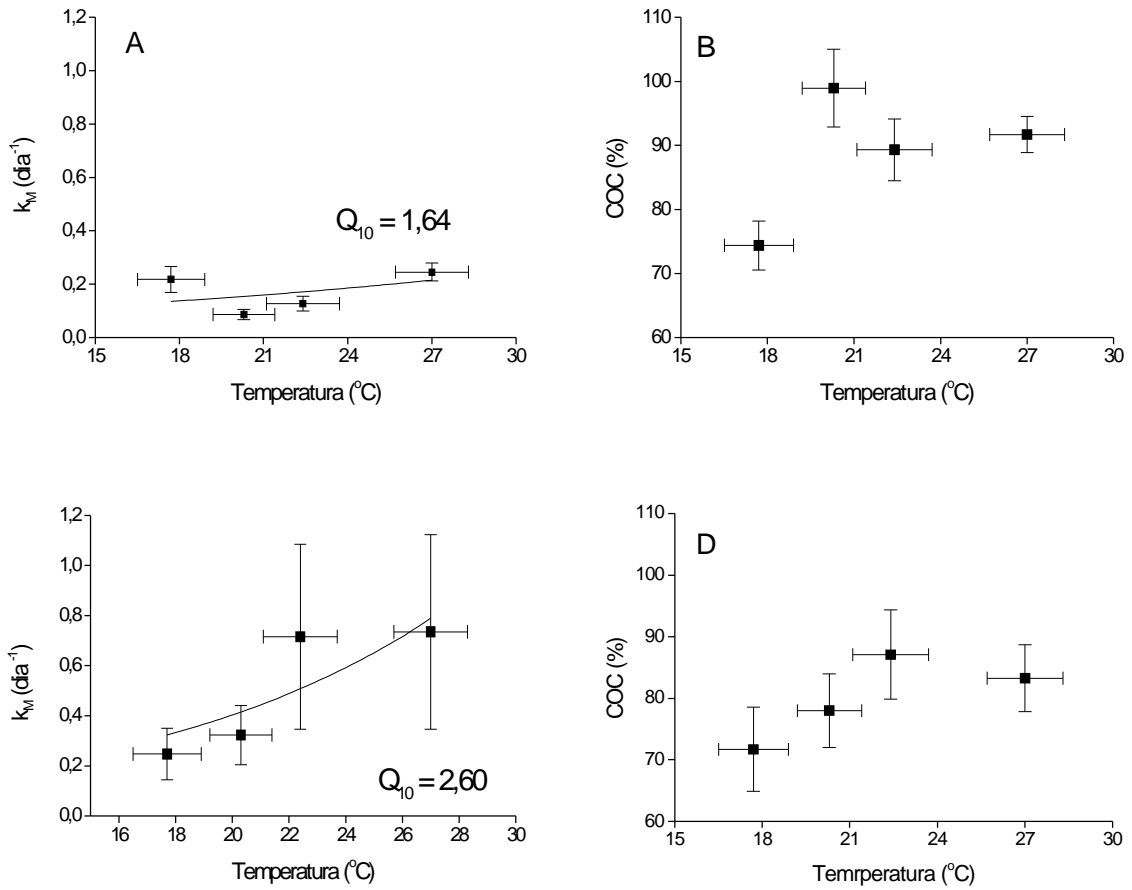


FIGURA 21 – Coeficientes de mineralização e percentagens de decomposição de carbono mineralizado em função da temperatura e da condição experimental (concentração alta de oxigênio: A e B; concentração baixa de oxigênio: C e D) durante a decomposição de células rompidas de *S. iverseii*.

intermediário em 120 dias, no processo sob baixa concentração de oxigênio foi em média de 93,5% e sob alta concentração de oxigênio de 95,4% (Figura 20 B e D). De acordo com esta figura é possível verificar os valores obtidos para os percentuais de conversão do COD, para todas as condições e temperaturas consideradas, a conversão do carbono pelo bacterioplâncton situou-se entre 80 e 99%.

Na Figura 21 (B e D) é possível comparar os valores determinados para as porcentagens de mineralização do carbono orgânico, sendo que nos processos sob altas concentrações de oxigênio dissolvido obtiveram-se os valores mais elevados. ANTONIO (1992) admitiu que o rendimento da conversão de glicose em biomassa de microrganismos foi de 62%, sendo este valor mais baixo do que os valores encontrados para os rendimentos de conversão do COD e do COC, obtidos neste estudo.

A temperatura influenciou diretamente tanto os coeficientes de reação (mineralização e decaimento) quanto os rendimentos de conversão de carbono. Estes resultados sugerem que a faixa ótima de decomposição do carbono orgânico no reservatório de Barra Bonita seja entre 20 a 24°C.

Comparando-se os coeficientes de decaimento do COD e os de formação de COC (mineralização) notou-se que os processos de degradação das frações dissolvidas foram mais lentos que os de mineralização do recurso como um todo, pois os coeficientes de decaimento do COD foram menores. Esses resultados sugerem que o COD foi sendo transformado em substâncias refratárias, provavelmente compostos húmicos (MANN, 1988), enquanto que as frações de COP e COB deram suporte aos processos respiratórios, conforme já registrado por MILLS & ALEXANDER (1974) na decomposição de *Asterococcus superbis*. De modo geral, com base nos coeficientes de correlação obtidos nota-se que os modelos selecionados representaram de modo satisfatório as variações de COD e COC (Tabela 1). O modelo utilizado para representar as cinéticas de mineralização foi mais adequado ( $r^2$ : de 0,69 a 0,97) que o empregado para descrever os decaimentos de COD ( $r^2$ : de 0,38 a 0,86).



TABELA 1 – Parametrização dos modelos cinéticos propostos para a decomposição das células rompidas de *S. iverseii*.

	Temp (°C)	DP (desvio padrão)	COD (%)	Erro	K <sub>d</sub> (dia <sup>-1</sup> )	Erro	r <sup>2</sup>	COC (%)	Erro	k <sub>M</sub> (dia <sup>-1</sup> )	Erro	r <sup>2</sup>
	17,7	1,2	49,69	4,29	0,023	0,006	0,81	74,37	3,81	0,218	0,048	0,93
[OD]	20,3	1,1	38,64	4,23	0,053	0,017	0,86	98,95	6,05	0,086	0,019	0,94
Alta	22,4	1,3	58,33	3,83	0,053	0,010	0,94	89,33	4,81	0,127	0,027	0,93
	27,0	1,3	33,31	5,69	0,052	0,072	0,63	91,70	2,84	0,245	0,033	0,97
	17,7	1,2	32,68	5,92	0,038	0,021	0,50	73,72	6,82	0,247	0,10	0,69
[OD]	20,3	1,1	28,73	6,05	0,015	0,118	0,38	77,99	5,98	0,323	0,118	0,77
Baixa	22,4	1,3	34,85	5,99	0,075	0,038	0,73	87,10	7,20	0,715	0,368	0,74
	27,0	1,3	36,58	5,27	0,070	0,075	0,74	82,28	5,40	0,734	0,308	0,80

A partir das variações dos coeficientes de mineralização em função da temperatura foi possível determinar os valores de  $Q_{10}$  (Figuras 20 e 21; A e C). A partir destes parâmetros foi possível observar que a degradação de células rompidas de *S. iverseii* foi mais afetada pela temperatura sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido (2,43 e 2,60) que sob altas concentrações (1,59 e 1,64). Foi possível verificar também que os valores determinados para o  $Q_{10}$ , na mesma condição experimental (altas ou baixas concentrações de OD) possuem a mesma magnitude, o que provavelmente sugere a participação da mesma comunidade bacteriana nos dois processos (degradação da COD e formação de COC). Estes resultados indicam que se a temperatura elevar-se em 10°C, o coeficiente de ciclagem do COD será 1,53 mais elevado caso predominem as baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Para a mineralização do carbono orgânico como um todo a comunidade adaptada as baixas concentrações de oxigênio dissolvido também se mostrou mais sensível (1,58 vezes). Tais resultados sugerem ainda, que os organismos aeróbios facultativos do reservatório de Barra Bonita além de serem mais sensíveis aos efeitos da temperatura sejam mais eficientes que os aeróbios restritos, uma vez que provavelmente foram os responsáveis pelos coeficientes de mineralização com valores mais elevados.

Em geral, com base nas análises químicas realizadas verificou-se que as variações dos elementos tenderam a apresentar 2 fases. Na primeira, os processos de liberação predominaram, gerando incrementos das concentrações. Provavelmente esta fase reflita os processos de solubilização e mineralização dos recursos. Em seguida, verificou-se que as concentrações tenderam a decrescer, nesses casos tais eventos são atribuídos, basicamente, às utilizações dos elementos químicos pelos microrganismos (Figuras 22 a 31).

Segundo VON BRAND (1937) o amônio aparece rapidamente na água no começo da decomposição do fitoplâncton, depois a liberação ocorre mais lentamente e alcança um mínimo no final da decomposição.

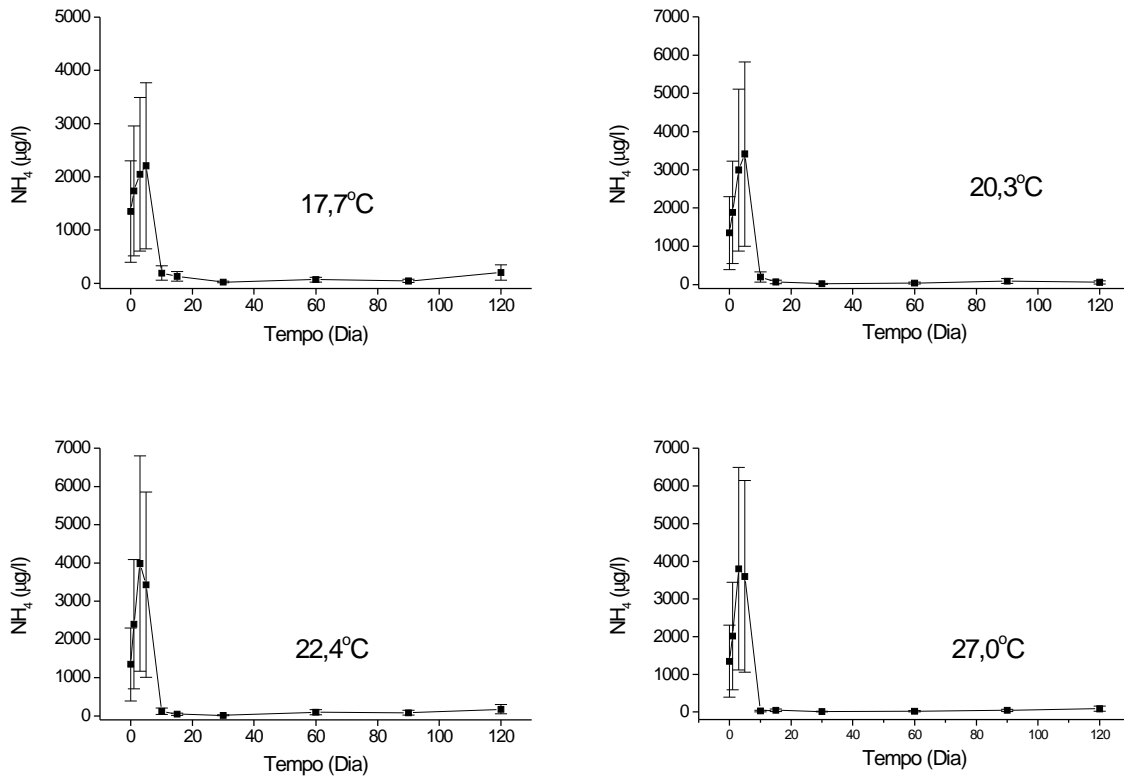


FIGURA 22 - Variação temporal do amônio dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

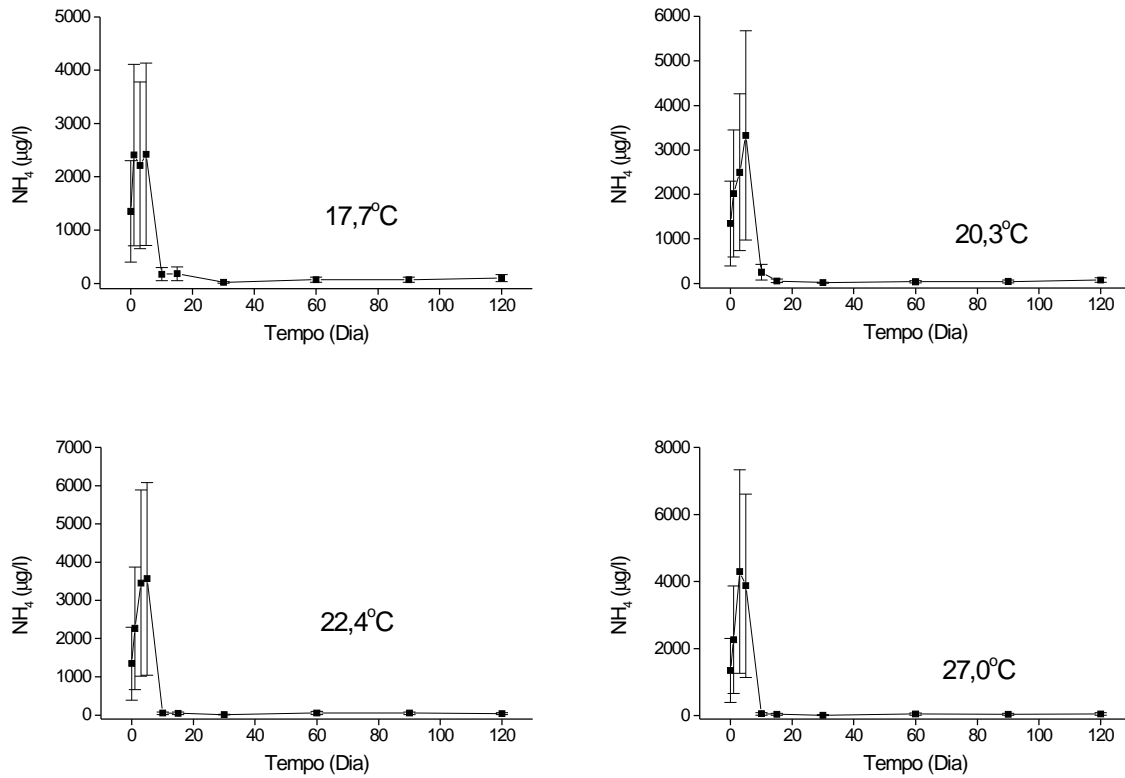


FIGURA 23 - Variação temporal do amônio dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

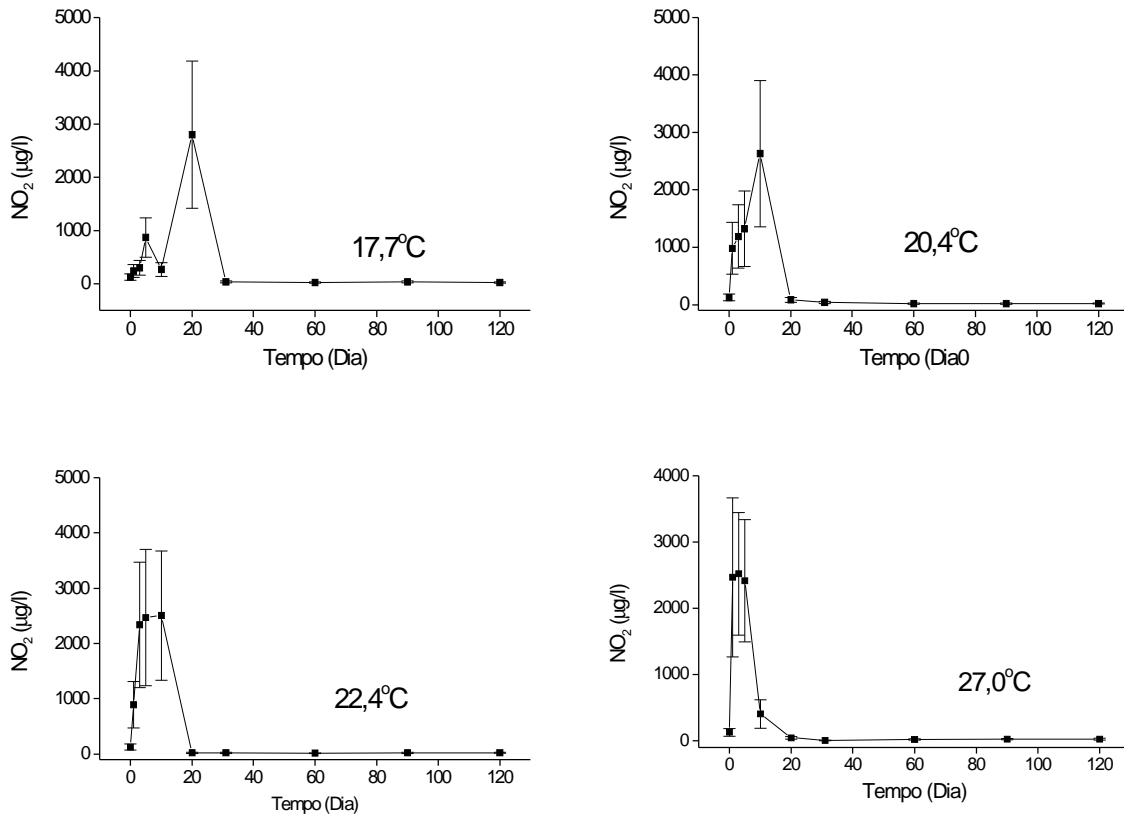


FIGURA 24 - Variação temporal do nitrito dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iversenii* e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

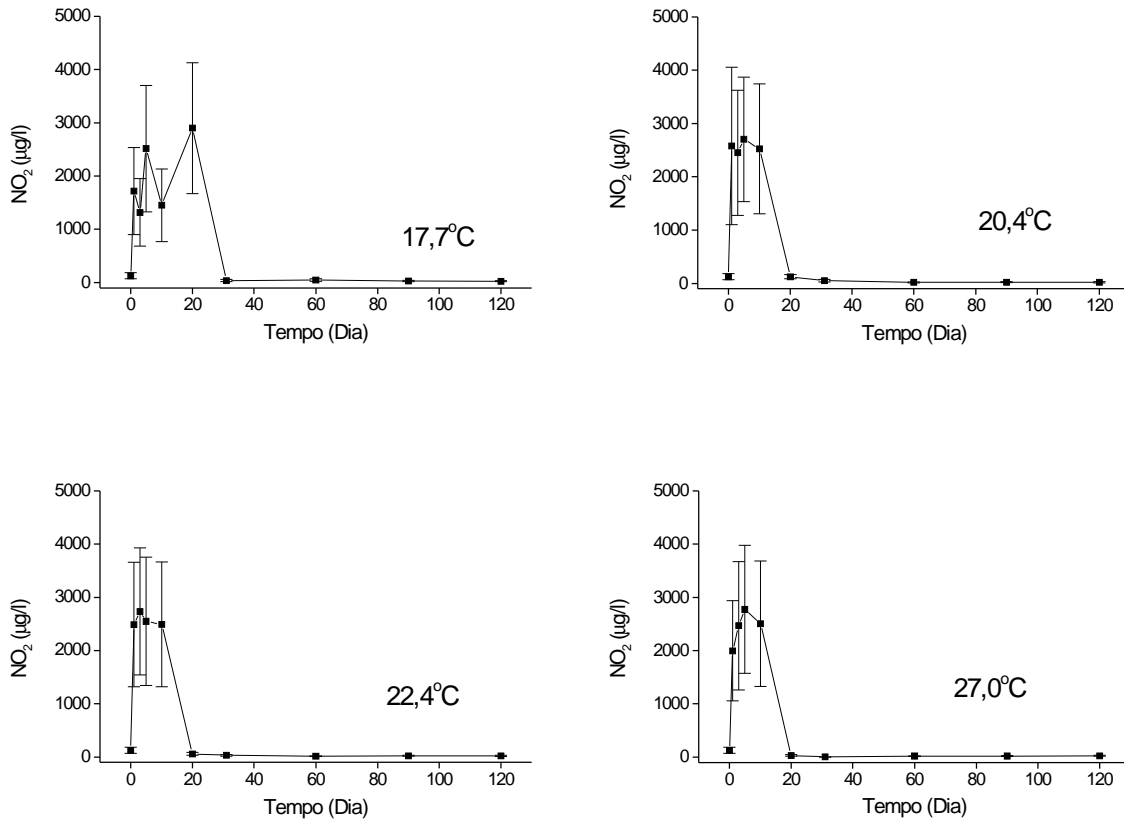


FIGURA 25 - Variação temporal do nitrito dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iversenii* e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, nas diferentes temperaturas.

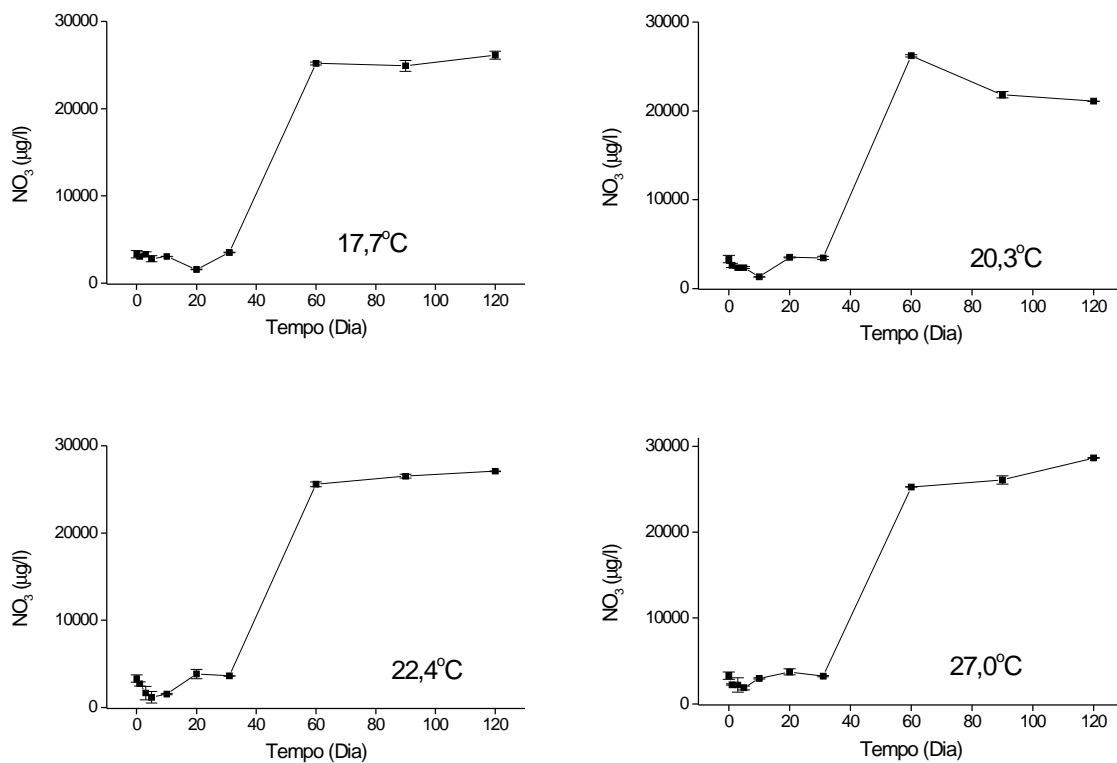


FIGURA 26 - Variação temporal do nitrato dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iversenii* e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.

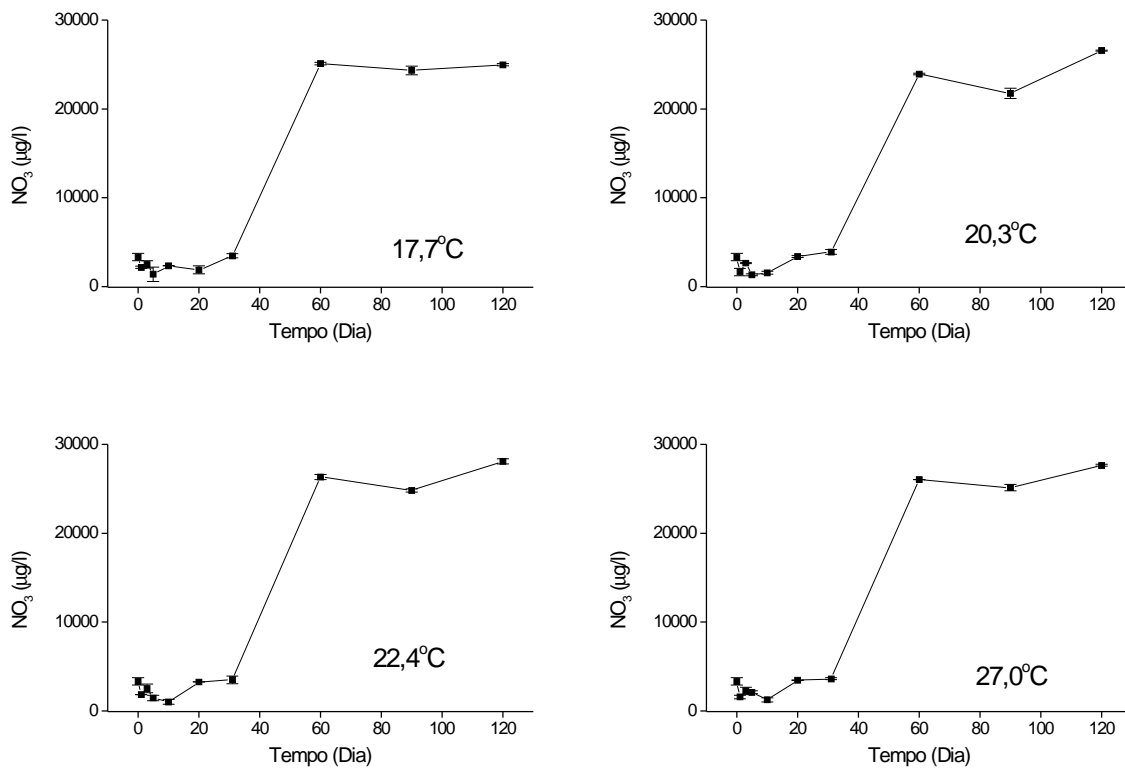


FIGURA 27 - Variação temporal do nitrato dissolvido das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.



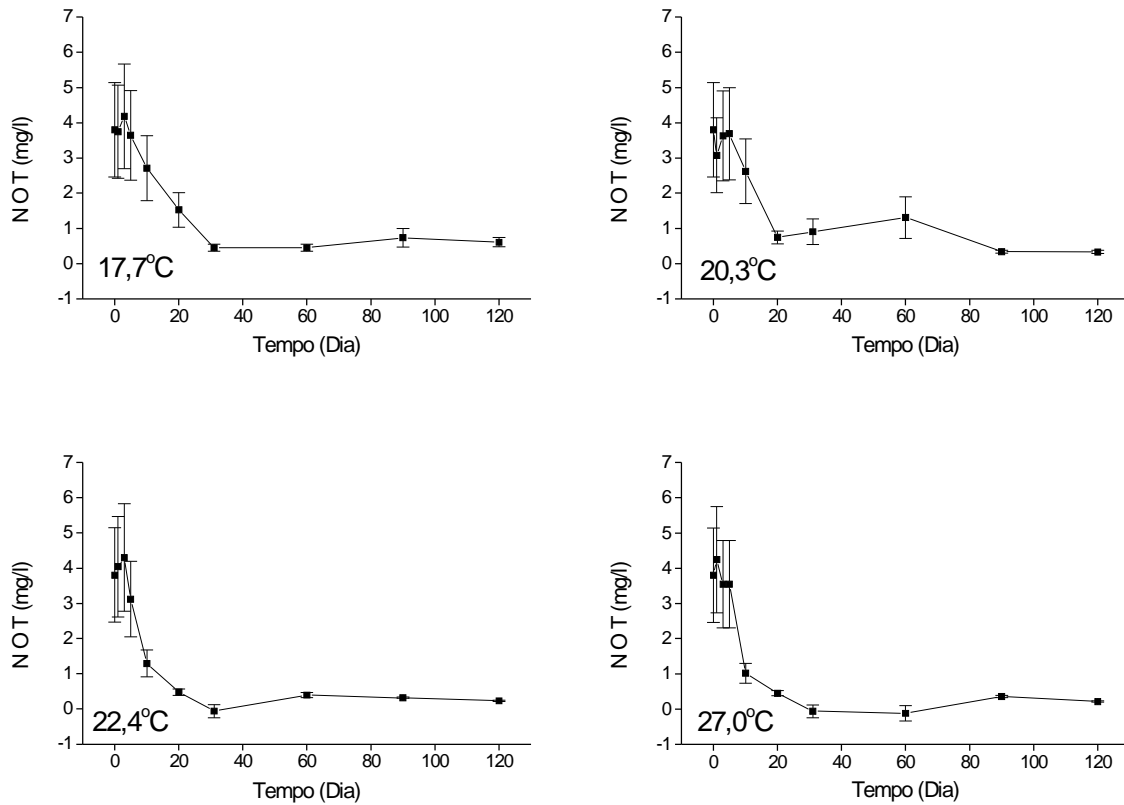


FIGURA 28 - Variação temporal do nitrogênio orgânico total das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iversenii* e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.

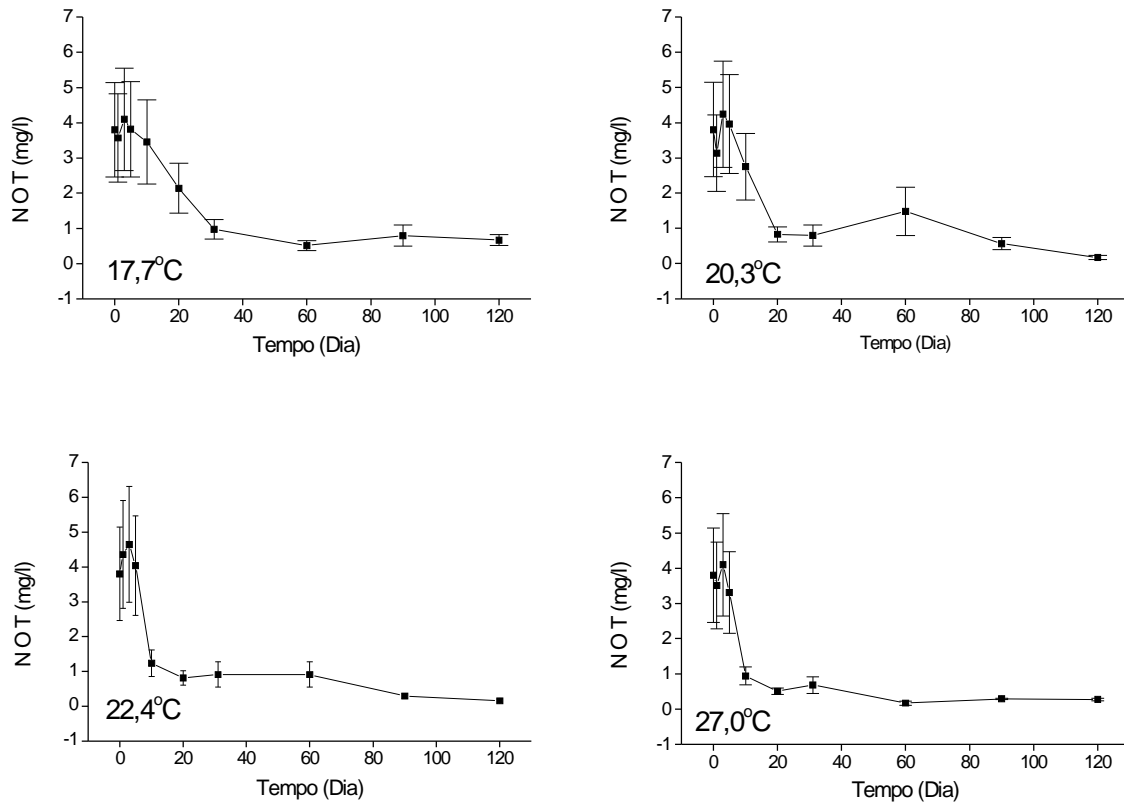


FIGURA 29 - Variação temporal do nitrogênio orgânico total das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

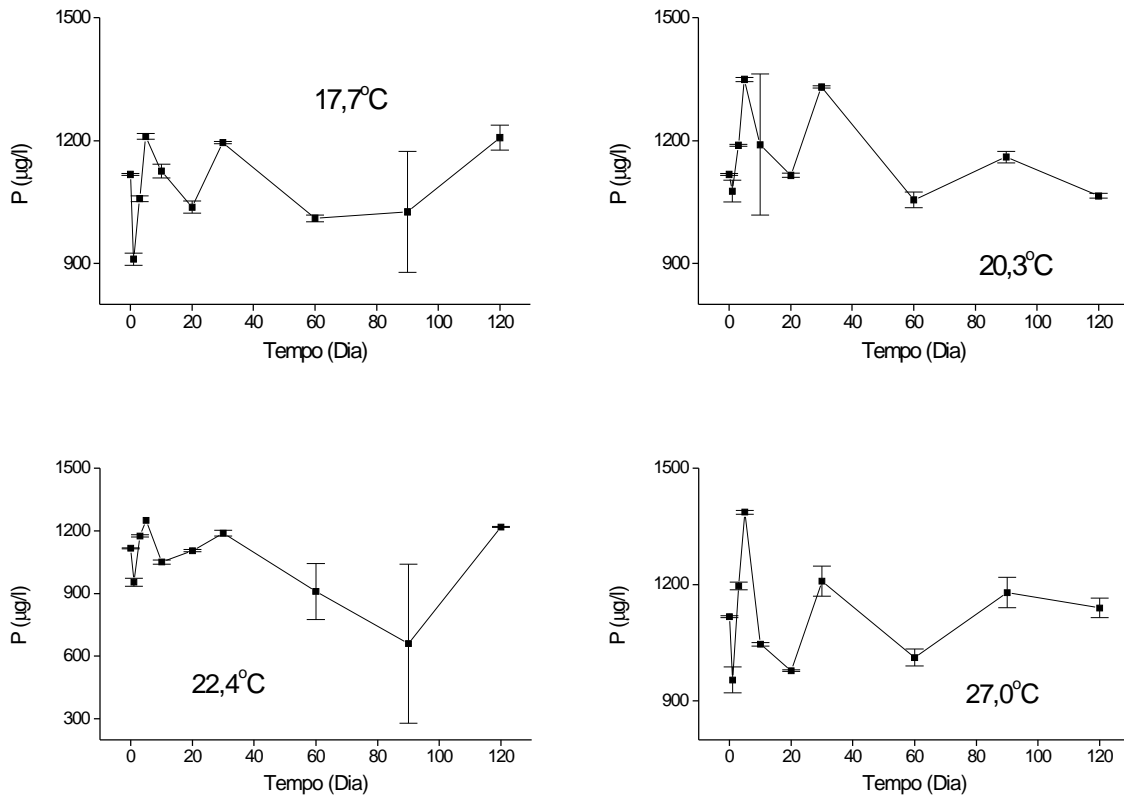


FIGURA 30 - Variação temporal do fosfato total das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.

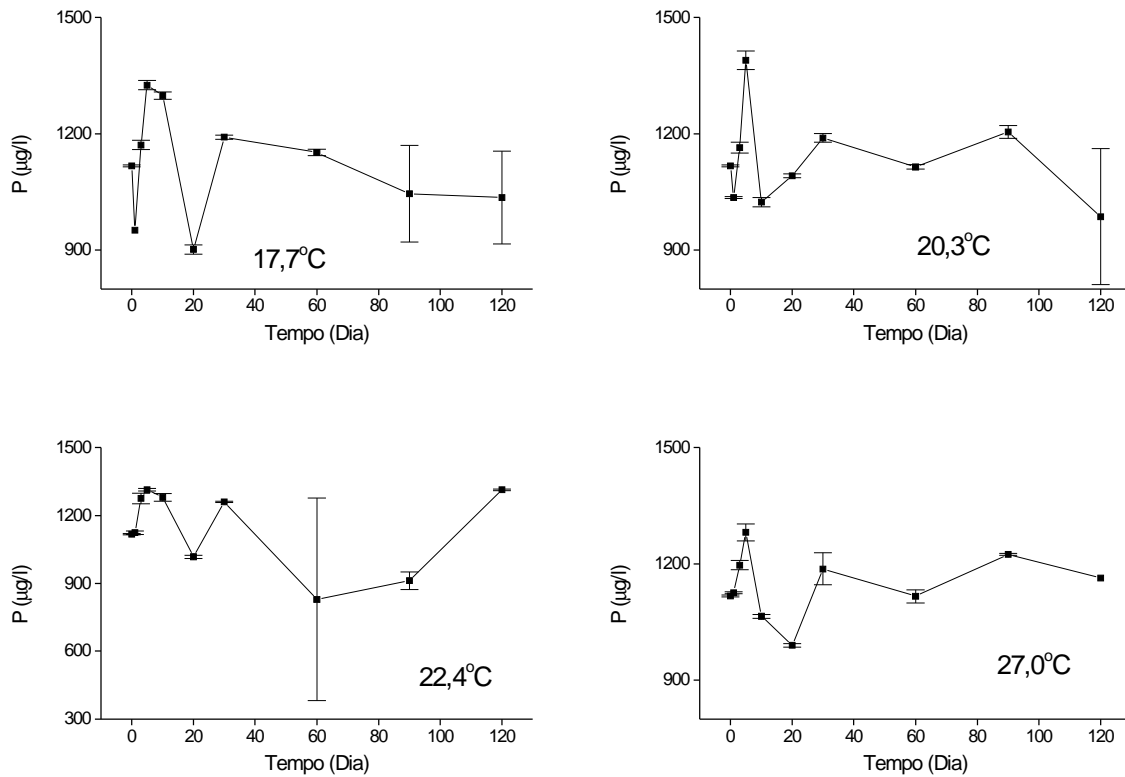


FIGURA 31 - Variação temporal do fosfato total das câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii* e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

O amônio é um metabólito muito comum, excretado principalmente em condições com baixas concentrações de oxigênio, neste experimento, o processo de ruptura celular provavelmente influenciou a liberação deste íon (PAERL & PINCKNEY, 1996). Através das Figuras 22 e 23 pode-se observar que as variações na concentração do amônio aumentaram nos primeiros 5 dias, quando as curvas atingiram picos de máximo; depois os valores foram decrescendo. Considerando que neste experimento as células foram rompidas, era de se esperar que neste caso o processo de liberação fosse mais intenso. Apenas na temperatura de 17,7°C na condição com baixa concentração de oxigênio (Figura 22 A) foi observado um pequeno atraso nos decréscimos das concentrações de amônio, para as outras temperaturas e condições, logo foram observadas quedas destas concentrações, pequenas alterações nas concentrações deste íon foram observados em torno do 60º dia. O processo de amonificação a partir da decomposição da matéria orgânica é muito importante, pois é a principal fonte deste composto para os ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988).

DARWICH (1995) estudando a decomposição de uma gramínea (*Echinochloa polytachya*) acompanhou a liberação de nutrientes nas câmaras de decomposição, verificou que as concentrações de amônio foram maiores nas câmaras contendo folhas que nas com caules, e também foram maiores para as que possuíam condição anaeróbia.

Com o processamento do amônio, iniciou-se a formação do nitrito; de acordo com as Figuras 24 e 25, a detecção do nitrito ocorreu em paralelo com a de amônio. As concentrações de nitrito encontradas neste experimento foram mais baixas do que o amônio e nitrato. As concentrações de nitrito aumentaram até o 5º dia, depois decresceram em níveis próximos a zero.

DARWICH (1995) detectou que as concentrações de nitrito nas câmaras em anaerobiose, com folhas e água destilada, foram cerca de 3 vezes maiores que nas câmaras com caule. No estudo com recursos provenientes de *S. iversenii* não foram

verificadas diferenças tão evidentes entre as câmaras com as diferentes concentrações de oxigênio, nem com relação as diferenças de temperatura.

Na presença de oxigênio a molécula de nitrito, sofre oxidação a nitrato. Neste experimento no início, as concentrações de nitrato foram baixas, os valores decresceram lentamente nos primeiros dias e depois, incrementaram-se (Figuras 26 e 27). Os valores mais elevados de nitrato foram determinados no 60º dia. Para ESTEVES (1988) a formação de nitrito (nitrificação) é realizada por bactérias dos gêneros *Nitrossomas* e *Nitrobacter* entre outras.

Para ESTEVES (1988) entre as principais fontes de nitrogênio nos sistemas aquáticos estão a lise celular (por senescência e herbívora) e a decomposição e excreção do fitoplâncton. De acordo com as Figuras 28 e 29 observa-se que as oscilações das concentrações de nitrogênio orgânico total foram intensas no início dos experimentos, com o tempo tenderam a decrescer continuamente até o 60º dia. Provavelmente, este processo esteve relacionado com as assimilações dos microrganismos e com a nitrificação.

Em experimento de decomposição com planta aquática superior, DARWICH (1995) verificou que as concentrações de nitrogênio total foram mais elevadas para os experimentos com folhas que com caules. Concentrações intermediárias foram determinadas para o experimento com células rompidas de *S. iversenii*, evidenciando uma maior contribuição das macrófitas na liberação de nutrientes do que as algas, principalmente das formas nitrogenadas.

Através das Figuras 30 e 31 observam-se as variações do fósforo no experimento com as células rompidas, as concentrações finais geralmente ficaram abaixo da concentração inicial.

Neste experimento houve 3 câmaras (temperaturas de 17,7°C e 22,1°C nas condições de concentrações baixas de OD e na de 22,1°C na condição de concentração de alta de OD, Figura, 30 C e 31 A e C) nas quais as concentrações finais do fósforo total foram ligeiramente mais elevadas que as iniciais. Estes

aumentos provavelmente podem ter sido devido ao método utilizado, ou pode ser devido a interferências relacionadas com a cor e/ou turbidez, presença de cromo hexavalente, nitrito, sulfetos, silicatos e arseniatos CETESB (1978).

Levando-se em conta que as câmaras de decomposição são sistemas fechados não houveram entrada e saída deste elemento, as oscilações devem ser por conta a absorção e excreção pelos microrganismos.

Muitas variáveis influenciam os processos de degradação mediados por microrganismos, dentre os quais citam-se: a temperatura, o pH, a salinidade e a radiação solar (CHARACKLIS *et al.*, 1989). Através da Figura 32 observam-se as variações de pH nas câmaras de decomposição com as células rompidas. Neste experimento verifica-se que houve pequenas oscilações até o 10º dia; depois, os valores ficaram estáveis ou decaíram. Uma vez que no processo de mineralização um dos principais gases a ser liberado é o CO<sub>2</sub>, a associação deste com a água gera H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (ácido carbônico) que se dissocia e faz com que as concentrações de H<sup>+</sup> aumentem.

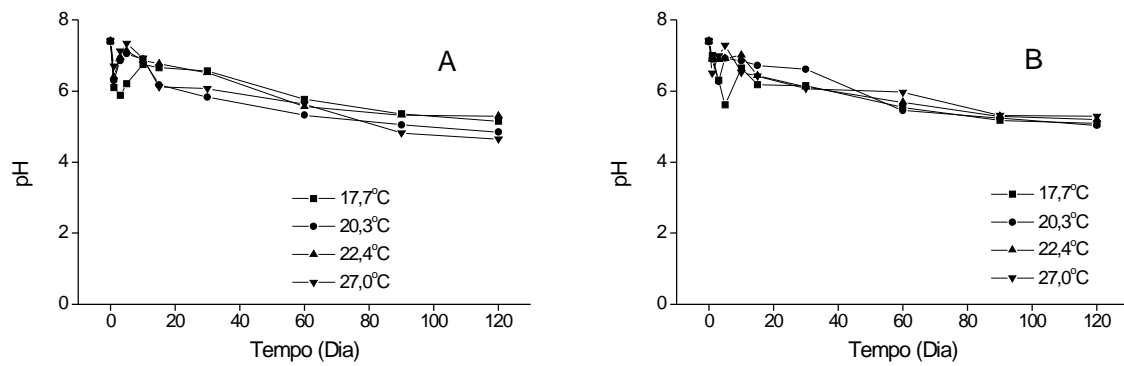


FIGURA 32 - Variações temporais de pH nas câmaras de decomposição com células rompidas de *S. iverseii*. A: concentrações elevadas de oxigênio dissolvido; B: baixas concentrações de oxigênio dissolvido.



## 5.5. DECOMPOSIÇÃO DAS CÉLULAS ÍNTEGRAS DE *S. iversenii*

Através das Tabelas 2 e 3 apresenta-se os parâmetros resultantes dos ajustes das variações temporais de COP e COD (decorrentes da degradação de células íntegras de *S. iversenii*) aos modelos cinéticos propostos (Equações 6 e 8). Com base nestes resultados nota-se que as proporções entre COPR e COPLS sofreram alterações. A maior fração refratária do COP foi obtida para os detritos à temperatura de 26,8°C, na condição experimental de concentração elevada de oxigênio (49,00%) e a menor (24, 41%), para os recursos a temperatura de 21,4°C, em baixas concentrações de oxigênio. JEWELL & McCARTY (1971) verificaram que para culturas de algas isoladas de efluentes, a fração refratária variou entre 34 e 45 %. Para estes autores, o aumento da temperatura durante a decomposição destes recursos diminuiu a quantidade de fração refratária para *Chlorella* e *Scenedesmus*, o que não foi observado no processo decomposição da espécie em questão.

O valor mais elevado do coeficiente de mineralização das frações refratárias foi de 0,036 dia<sup>-1</sup>, determinado para a incubação com concentração elevada de oxigênio dissolvido, a temperatura de 26,8°C. Os coeficientes de mineralização das frações refratárias determinados por CUNHA & BIANCHINI Jr. (1998) para o processo de decomposição de *Cabomba piauhyensis* em condição aeróbia foi 0,0062 dia<sup>-1</sup>. Na degradação anaeróbia desta macrófita aquática o valor encontrado para este coeficiente foi 0,0019 dia<sup>-1</sup> (CUNHA & BIANCHINI Jr., 1999)

Para BIANCHINI Jr. & TOLEDO (1996) as percentagens das frações refratárias de *Eleocharis mutata* foram aproximadamente as mesmas que a soma das frações de lignina, celulose e lipídeos. Como já mencionado, as paredes celulares das desmidiáceas possuem uma camada média de celulose e outra mais externa de celulose impregnada com pectina. Talvez esta substância seja tão refratária quanto as predominantes nos tecidos de sustentação das macrófitas aquáticas.

TABELA 2 – Parâmetros dos modelos cinéticos adotados para degradação de células íntegras de *S. iverseii* (COP).

	Temp. (°C)	DP (desvio padrão)	COPLS (%)	Erro	COPL (%)	COPR (%)	Erro	$k_T$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$k_L$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_M$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_4$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$r^2$
	18,2	2,0	71,33	3,51	48,52	28,66	1,78	3,32	1,36	2,25	1,07	0,008	0,0017	0,99
[OD]	21,4	1,7	61,38	2,35	44,23	38,51	1,16	3,32	0	2,39	0,93	0,016	0,0014	0,99
alta	24,8	1,4	55,33	3,54	36,45	44,61	1,72	3,3	0	2,19	1,13	0,014	0,0017	0,98
	26,8	2,5	51,07	7,10	32,84	49,00	4,12	3,3	0	2,13	1,19	0,036	0,0083	0,96
	18,2	2,0	59,34	2,26	43,09	40,66	1,16	2,24	0,35	2,21	0,03	0,008	0,0008	0,99
[OD]	21,4	1,7	75,59	2,42	55,22	24,41	1,26	2,18	0,28	1,59	0,59	0,009	0,0015	0,99
baixa	24,8	1,4	71,33	3,51	48,53	28,67	1,78	3,32	1,36	2,25	1,07	0,008	0,0017	0,99
	26,8	2,5	68,69	3,14	46,02	31,31	1,65	2,01	0,34	1,35	0,66	0,009	0,0015	0,99

TABELA 3 – Parâmetros dos modelos cinéticos adotados para a degradação do COD de células íntegras de *S. iversenii*.

	T (°C)	DP (desvio padrão)	COD (%)	Erro	$k_T$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$k_3$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$r^2$
[OD] alta	18,2	2,0	22,81	2,60	3,32	1,36	0,058	0,017	0,84
	21,4	1,7	17,15	0,82	3,32	0	0,010	0,001	0,93
	24,8	1,4	18,22	1,00	3,3	0	0,018	0,002	0,92
	26,8	2,5	18,88	1,12	3,3	0	0,012	0,003	0,92
[OD] baixa	18,2	2,0	16,25	0,70	2,24	0,35	0,012	0,001	0,95
	21,4	1,7	20,36	1,04	2,18	0,28	0,010	0,001	0,92
	24,8	1,4	22,80	2,60	3,33	1,36	0,058	0,017	0,84
	26,8	2,5	22,04	1,09	2,01	0,34	0,009	0,001	0,92

Através das Figuras 33 e 34 observam-se as cinéticas de decaimento do carbono orgânico particulado. Nota-se que para a fração solúvel/lábil, foram obtidos valores mais altos (75,59%) na temperatura de 21,4°C em concentrações baixas de oxigênio dissolvido e o menor valor (51,07%) ocorreu na temperatura de 26,8°C, em elevadas concentrações de oxigênio dissolvido (TABELA 2).

Ao comparar os coeficientes globais de decaimento de COPLS ( $k_T$ ) com os coeficientes de mineralização das frações refratária ( $k_M$ ) do COP, nas duas condições consideradas, verificou-se que o processo com maior disponibilidade de oxigênio dissolvido foi mais rápido. Os processos de decaimento de COPLS apresentaram tempos médios de meia-vida de 4,8 horas, para a fração refratária o tempo médio de meia-vida foi estimado em 18,8 dias (Tabela 2).

O processo de solubilização do COPLS foi mais rápido para as incubações com elevadas concentrações de oxigênio (tempo médio de meia-vida = 7,24 horas) que nas realizadas em baixas concentrações. O menor  $k_s$  ocorreu na decomposição a 26,8°C sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido (tempo médio de meia-vida = 12,24 horas); o mesmo foi verificado entre os processos de mineralização, das frações lábeis sendo que estes valores oscilaram entre a temperatura de 26,8°C com alta concentração de oxigênio (tempo de meia-vida de 13,68 dias) e para a condição com baixa concentração de oxigênio na temperatura de 18,2°C, tempo de meia-vida de 23 dias.

A Figura 35 evidencia que os valores determinados para  $k_L$  e  $k_M$  para as altas concentrações de oxigênio não apresentaram grandes oscilações, ao contrário dos verificados para as baixas concentrações de oxigênio dissolvido (principalmente para o  $k_L$ ), destacando que, praticamente, a temperatura não interferiu nas alterações destes coeficientes. Os processos de solubilização predominaram sobre os de mineralização de curto prazo (formação do  $IN_1$ ) (Figura 8), verificou-se também que houve uma tendência de incremento da velocidade dos processos de mineralização de curto prazo em função da temperatura (Figura 35 F).

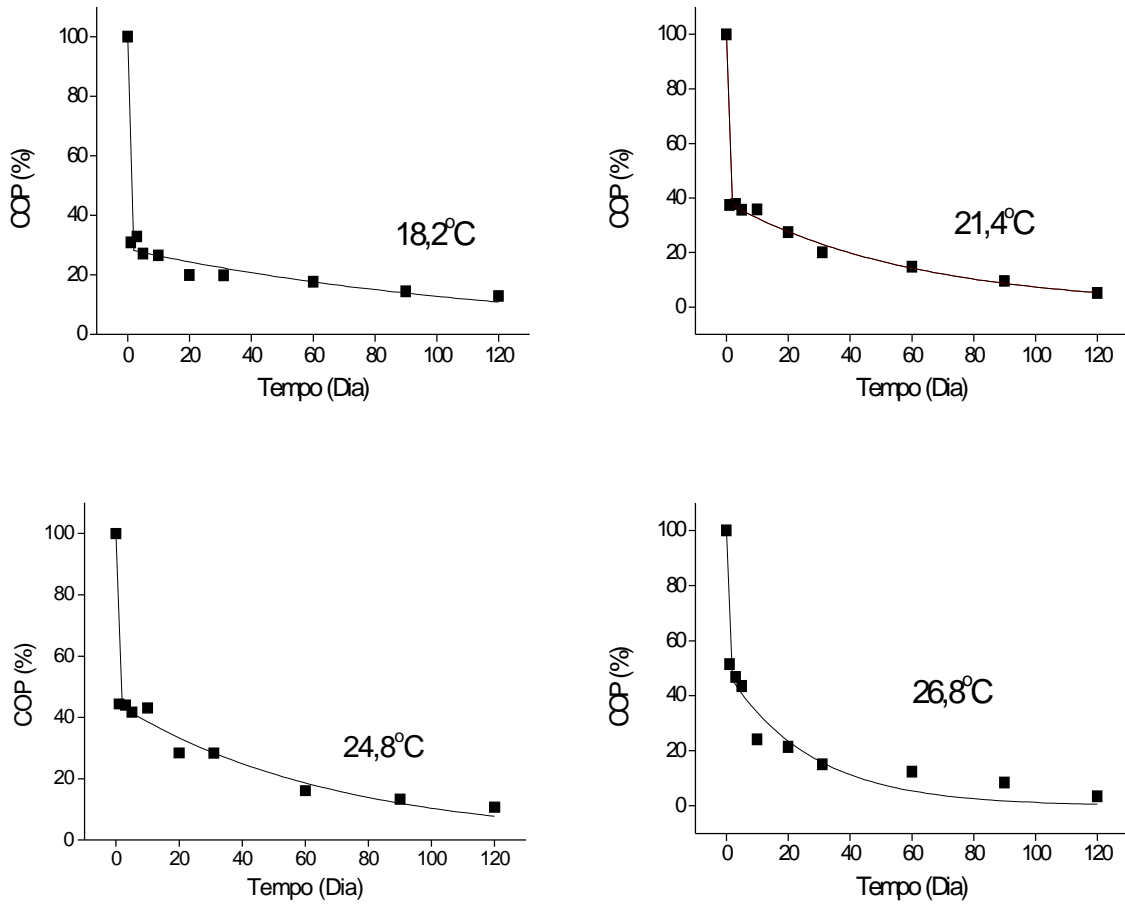


FIGURA 33 - Variações temporais do COP durante a degradação de células íntegras de *S. iverseii*, meios com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido.

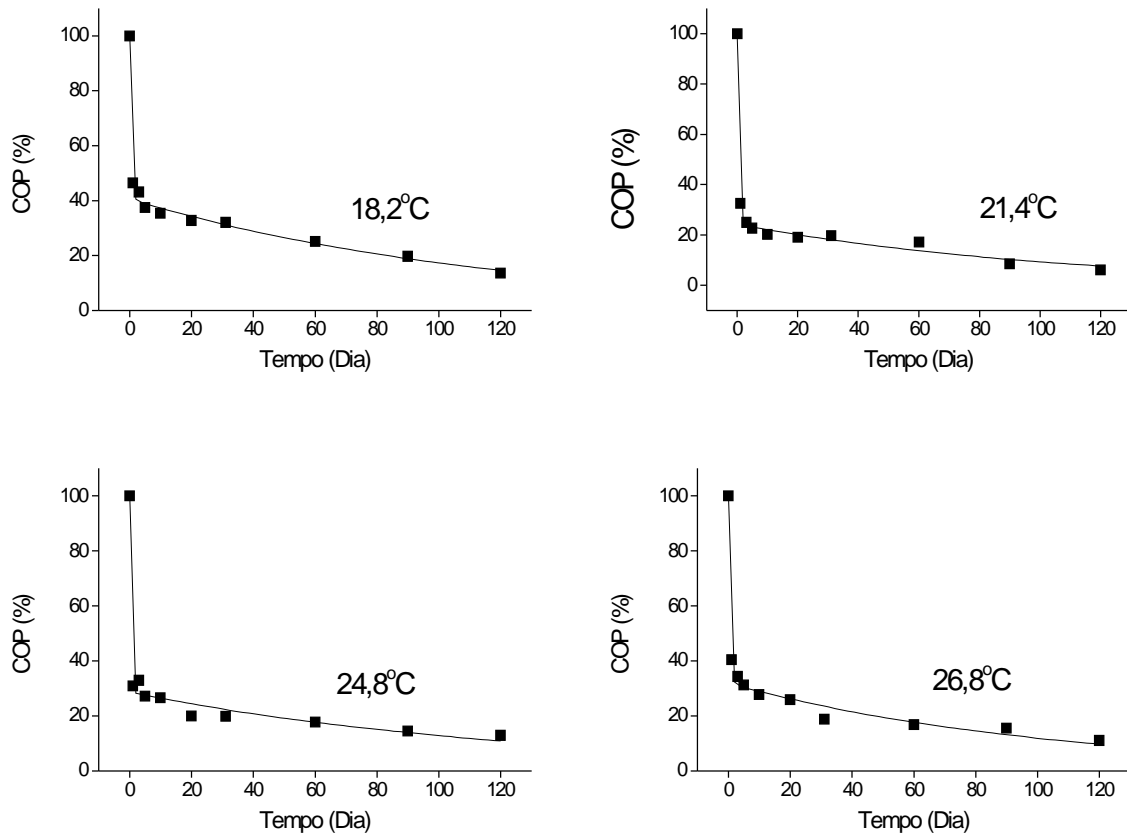


FIGURA 34 - Variações temporais do COP durante a degradação de células íntegras de *S. iversenii*, meios com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

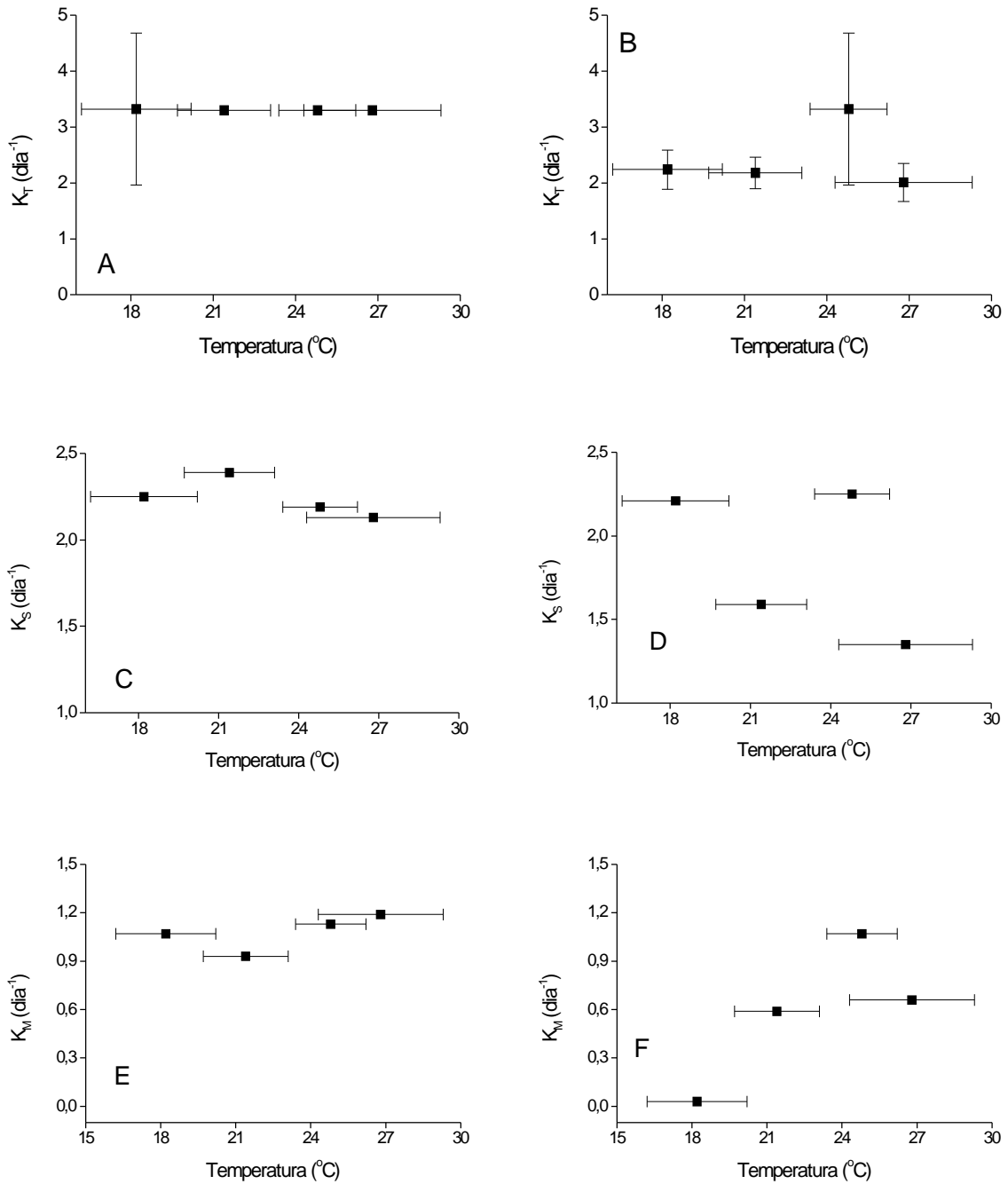


FIGURA 35 - Variações dos coeficientes globais de decaimento do COP ( $k_T$ ): A e B, dos coeficientes de solubilização (C e D) e dos coeficientes de mineralização (E e F); concentrações elevadas (A, C, E) e baixas de oxigênio dissolvido (B, D, F).

CHEN & WANGERSKY (1996) estudando o decaimento do COD de excretados de culturas de diatomáceas (*Chaetoceros gracilis* e *Phaeodactylum tricornutum*), de dinoflagelados (*Alexandrium tamarense*) e de flagelado (*Isochrysis galbana*) verificaram o efeito da temperatura sobre a degradação deste material.

Os processos de decaimento do COD excretados por *C. gracilis* ( $0,12 \text{ dia}^{-1}$ ) e *P. tricornutum* ( $0,49 \text{ dia}^{-1}$ ) foram mais rápidos no primeiro dia, os valores dos coeficientes de decaimento foram maiores do que os determinados para as frações de COD de *S. iversenii*, que variaram de  $0,009$  a  $0,058 \text{ dia}^{-1}$  (Tabela 3). Nesse contexto, através das Figuras 36 e 37 pode-se observar os ajustes cinéticos do aparecimento e decaimento do COD para o experimento de decomposição com células íntegras de *S. iversenii*.

No início houve um incremento das concentrações do COD, uma vez que predominaram os processos de solubilização e, provavelmente, os microrganismos em contato com as células algais iniciaram a quebra das paredes celulares, através de processos enzimáticos (CHAN, 1985).

De acordo com a Tabela 2 observa-se que não houve grande variação dos coeficientes de formação de COD ( $k_T$ ), para a condição com alta concentração de oxigênio. Estes valores foram considerados constantes ( $3,32 \text{ dia}^{-1}$ ) em todas as temperaturas (tempo de meia-vida de 4,98 dias), na condição com baixa concentração de oxigênio este parâmetro oscilou entre  $2,01$  e  $3,32 \text{ dia}^{-1}$  (temperaturas de  $26,8^\circ\text{C}$  e  $24,8^\circ\text{C}$ , respectivamente).

Os valores dos coeficientes de decaimento do COD ( $k_3$ ) variaram entre  $0,009$  a  $0,058 \text{ dia}^{-1}$  para temperaturas de  $26,8$ ,  $24,8$  e  $18,2^\circ\text{C}$ , respectivamente. Na condição de baixa concentração de oxigênio observa-se que foram processos lentos. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para os decaimentos do COD variaram de  $0,84$  a  $0,95$  o que indica uma boa aderência dos ajustes cinéticos aos resultados experimentais (Tabela 3).



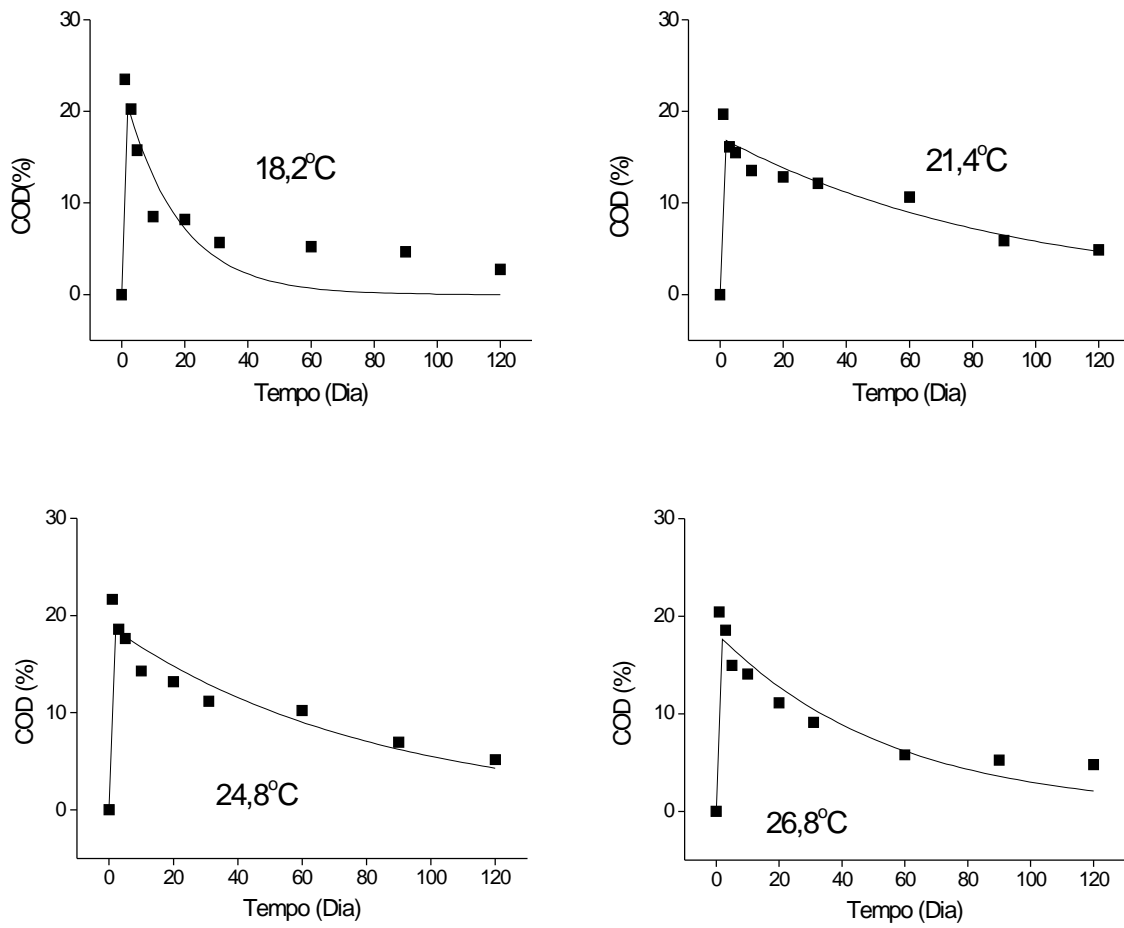


FIGURA 36 - Ajustes cinéticos das variações de COD durante a degradação de células íntegras de *S. iverseii* em condições de concentrações elevadas de oxigênio.

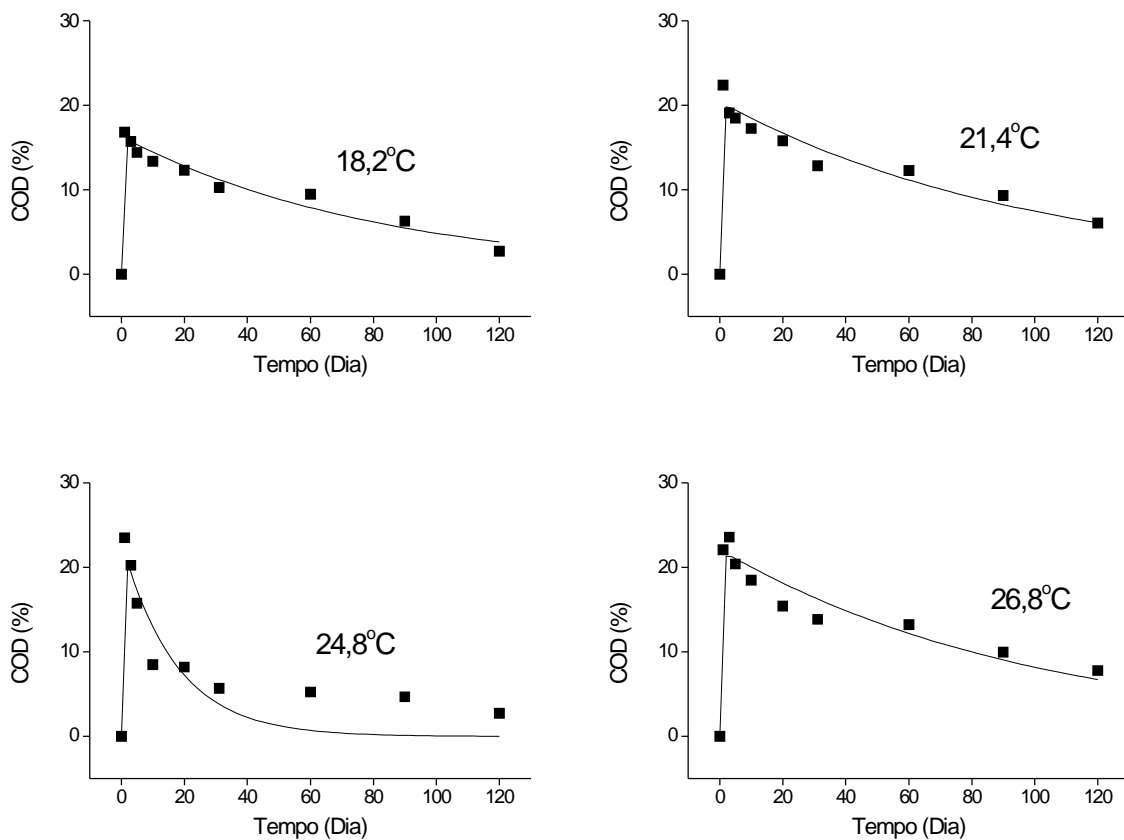


FIGURA 37 - Ajustes cinéticos das variações de COD durante a degradação de células íntegras de *S. iverseii* em condições de baixas concentrações de oxigênio.

As menores concentrações finais de COD (2,78%) foram verificadas na temperatura de 18,2°C para as duas condições consideradas e o maior, foi (7,83%) na incubação a 26,8°C, sob baixas concentrações de oxigênio, sugerindo que em temperaturas altas as conversões metabólicas competiram com as reações que produziram compostos refratários, provavelmente compostos húmicos.

Através da Figura 38 observam-se os teores finais do carbono orgânico consumido em função da temperatura. Verifica-se que no caso das incubações sob altas concentrações de oxigênio dissolvido (Figura 38 A) a temperatura tendeu a favorecer as mineralizações, enquanto que nas incubações sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido este evento praticamente não ocorreu. A partir das incubações com altas concentrações de oxigênio foi possível estimar o  $Q_{10}$  da comunidade heterotrófica envolvida. Com base nesse parâmetro, supõe-se que, no geral, a temperatura pouco influenciou os processos globais de degradação de *S. iversenii*. No entanto, como demonstrado, esta variável modificou os rendimentos e coeficientes envolvidos com as rotas de ciclagem deste recurso.

Em baixas concentrações de oxigênio dissolvidos, com o incremento da temperatura, houve a tendência a favorecer os processos de mineralização de curto prazo ( $IN_1$ ), em detrimento das mineralizações que envolveram as frações refratárias ( $IN_3$ ) e a formação e degradação de COD ( $IN_2$ ), Figura 39. O contrário se verificou nas incubações efetuadas sob as concentrações elevadas de oxigênio dissolvido ou seja, com o aumento da temperatura, as mineralizações que envolveram as frações dissolvidas e refratárias foram favorecidas em detrimento das mineralizações de curto prazo ( $IN_1$ ).

Através da Figura 40 observa-se que os incrementos de temperatura favoreceram as velocidades dos processos de mineralização de COPR, sendo este evento mais evidente para os processos sob altas concentrações de oxigênio dissolvido. Tanto a temperatura quanto a disponibilidade de oxigênio não definiram

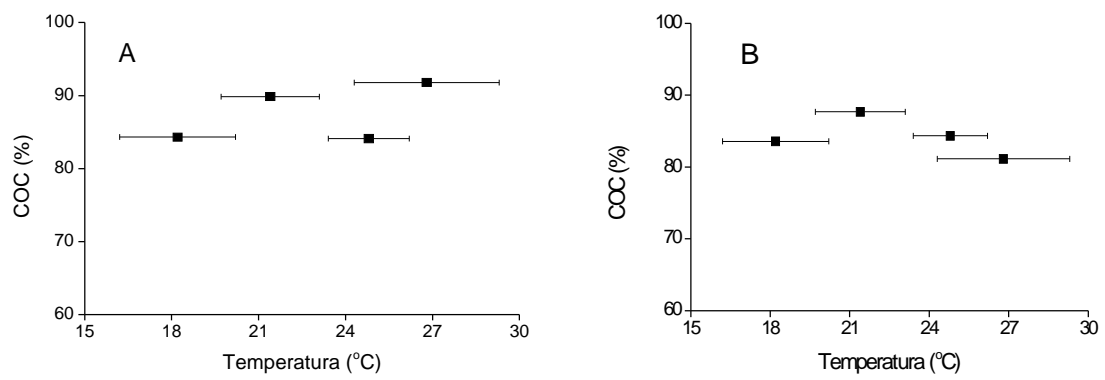


FIGURA 38 - Variações das concentrações finais de COC durante a degradação de células íntegras de *S. iverseii*.

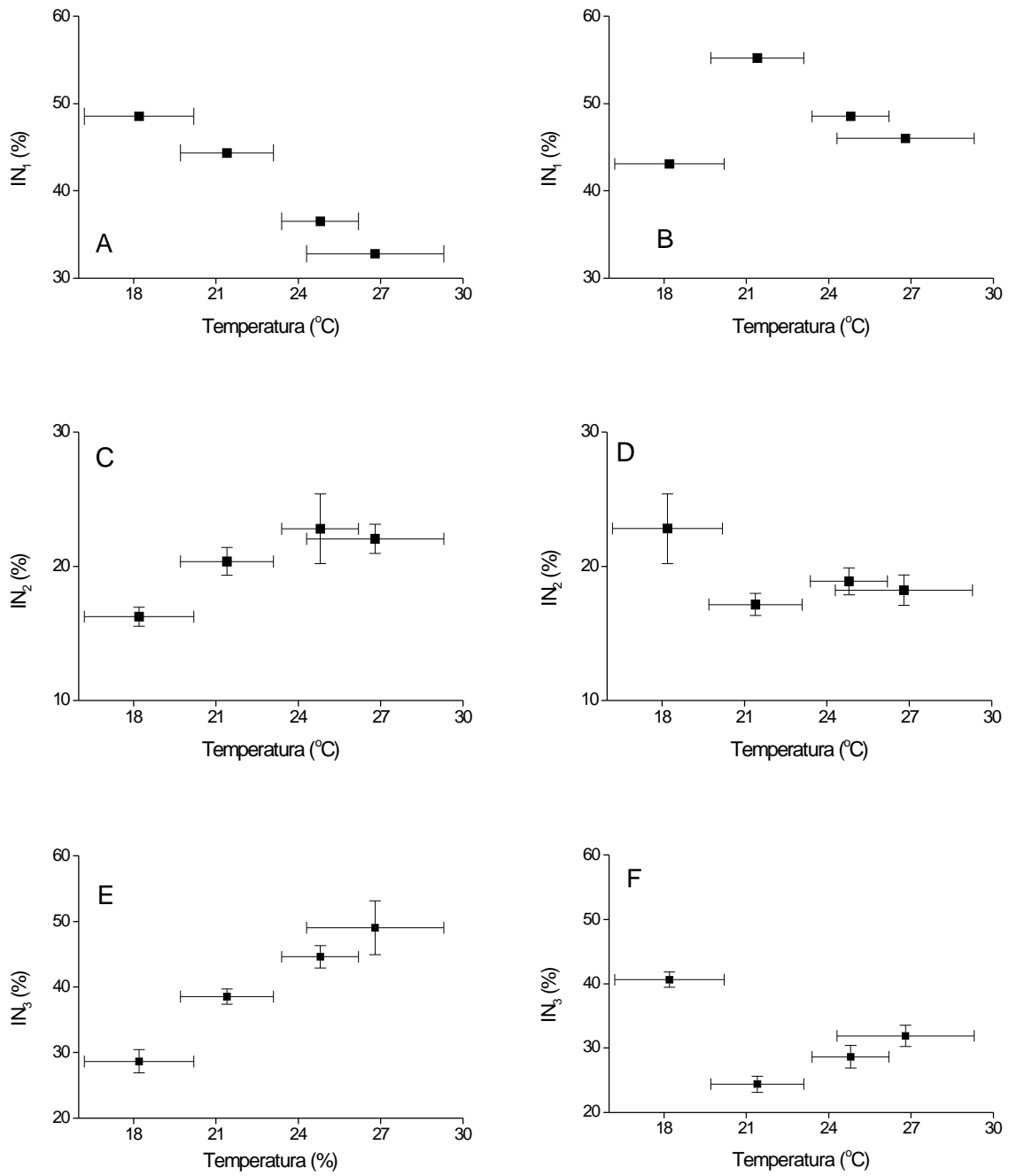


FIGURA 39 - Variações quantitativas das rotas de mineralização de *S. iverseii* em condições de baixas (B, D e F) e elevadas (A, C e E) concentrações de oxigênio dissolvido.

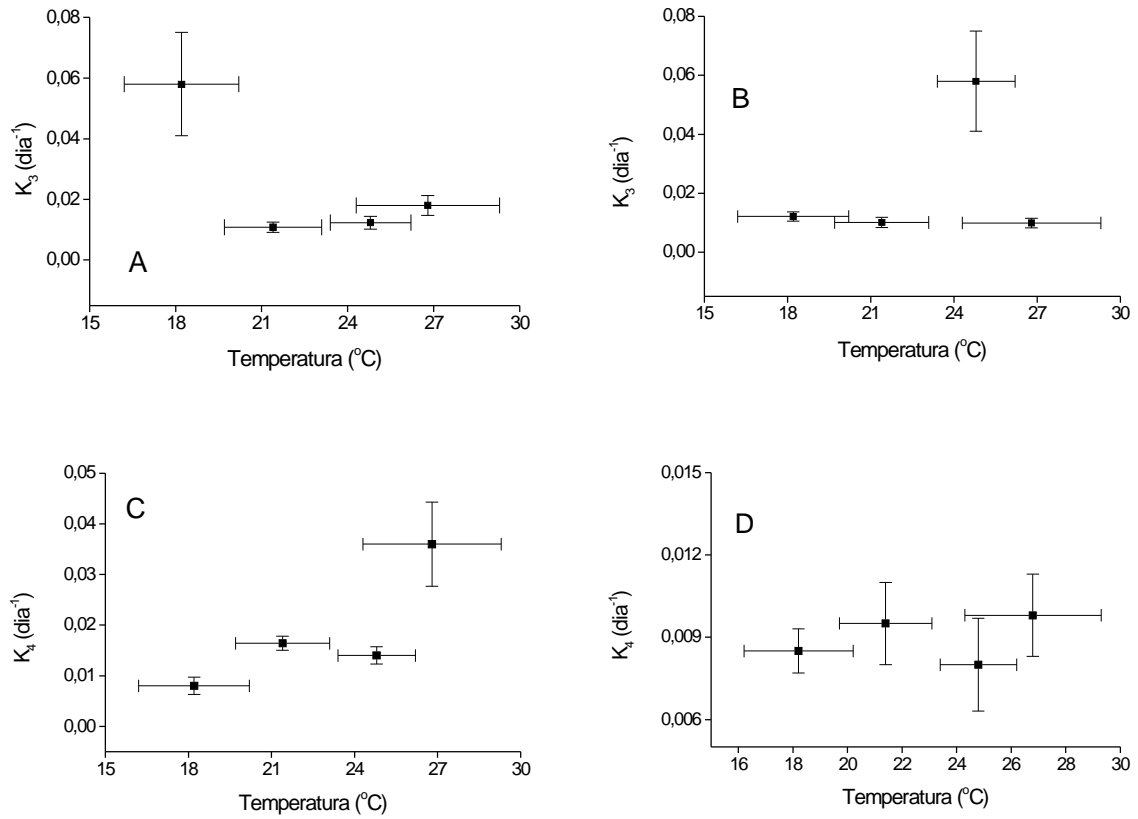


FIGURA 40 - Variações dos coeficientes de mineralização do COD (A e B) e do COP (C e D) durante da a mineralização de *S. iverseii* concentrações altas (A e C) e baixas (B e D) de oxigênio dissolvido.

nitidamente um favorecimento das velocidades dos processos de mineralização das frações de COD.

No geral, os incrementos de temperatura desfavoreceram as rotas de mineralização de *S. iversenii* que envolviam as oxidações de curto prazo, em condições de concentração elevadas de oxigênio dissolvido. Por outro lado, tenderam a favorecer tais processos (Figura 41) no caso da condição de baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

Através das Figuras 42 a 52 observa-se que não ocorreram oscilações abruptas nas concentrações de nutrientes para o experimento de decomposição de células íntegras de *S. iversenii*.

Para o amônio houve oscilações nas concentrações nas diferentes temperaturas, ao contrário do experimento com as células rompidas, neste apareceram picos de concentração no final do período de observação (Figura 42 e 43).

As concentrações iniciais do nitrito deste experimento de decomposição (com as células íntegras) foram em torno de 800 µg/l (iguais às concentrações iniciais do experimento com células rompidas). Em algumas câmaras as concentrações iniciais decresceram rapidamente, enquanto que em outras houve um ligeiro aumento, em torno do 60º dia (Figura 44 e 45). Este evento ocorreu independentemente da disponibilidade de oxigênio dissolvido.

Com comportamento semelhante ao do 1º experimento (células rompidas), as concentrações de nitrato em algumas incubações tiveram uma ligeira queda. Apesar das baixas concentrações de oxigênio, as quantidades liberadas de nitrato foram elevadas, tanto quanto nas câmaras com concentrações altas de oxigênio dissolvido. Com relação a quantidade, os valores de concentração determinados no experimento com as células rompidas foram o dobro dos verificados para o experimento com as células íntegras. Nas incubações a 26,8°C houve ligeiros decréscimos das concentrações após o 90º dia. (Figura 46 e 47). As concentrações iniciais do

nitrogênio orgânico total foram muito elevadas em relação aos outros compostos nitrogenados, evidenciando que provavelmente, tenham ocorrido transformações para as demais formas de nitrogênio.

Durante o experimento, as concentrações de nitrogênio orgânico total foram decrescendo continuamente. Provavelmente devido à mineralização das formas orgânicas de nitrogênio (proteínas e aminoácidos). Basicamente tais decréscimos estiveram ligados aos processos de amonificação e nitrificação.

Nas Figuras 50 e 51 observa-se que as variações do fósforo total neste experimento de degradação (com as células íntegras) foram semelhantes as determinadas no experimento com as células rompidas.

Através da Figura 52 observa-se as variações de pH nas câmaras de decomposição com as células íntegras de *S. iversenii*. Nota-se que a exemplo do ocorrido no 1º experimento, os valores de pH tenderam a decrescer ao longo do tempo. As variações temporais destes valores indicam que em todos os frascos predominaram as formações de CO<sub>2</sub> em detrimento da sua assimilação.



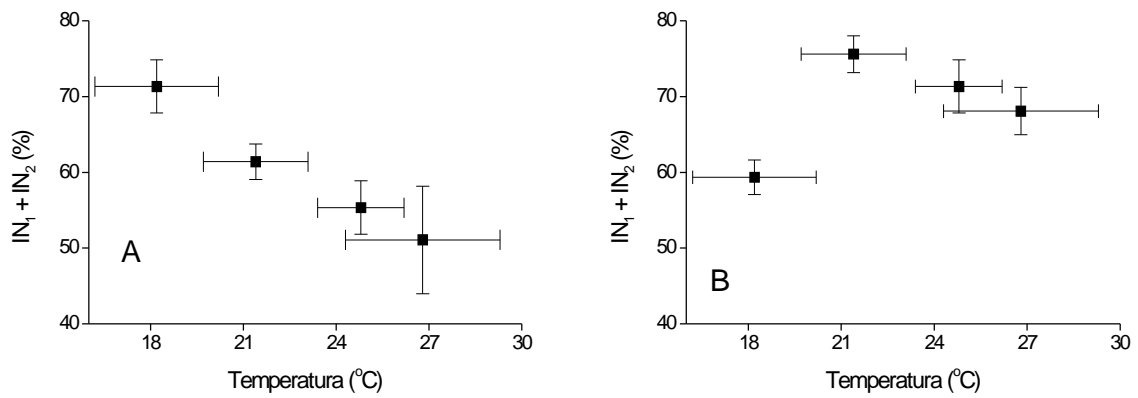


FIGURA 41 - Variações das frações  $IN_1$  e  $IN_2$ , na degradação de células íntegras de *S. iverseii* em condições de concentrações elevadas (A) e baixas (B) de oxigênio dissolvido.

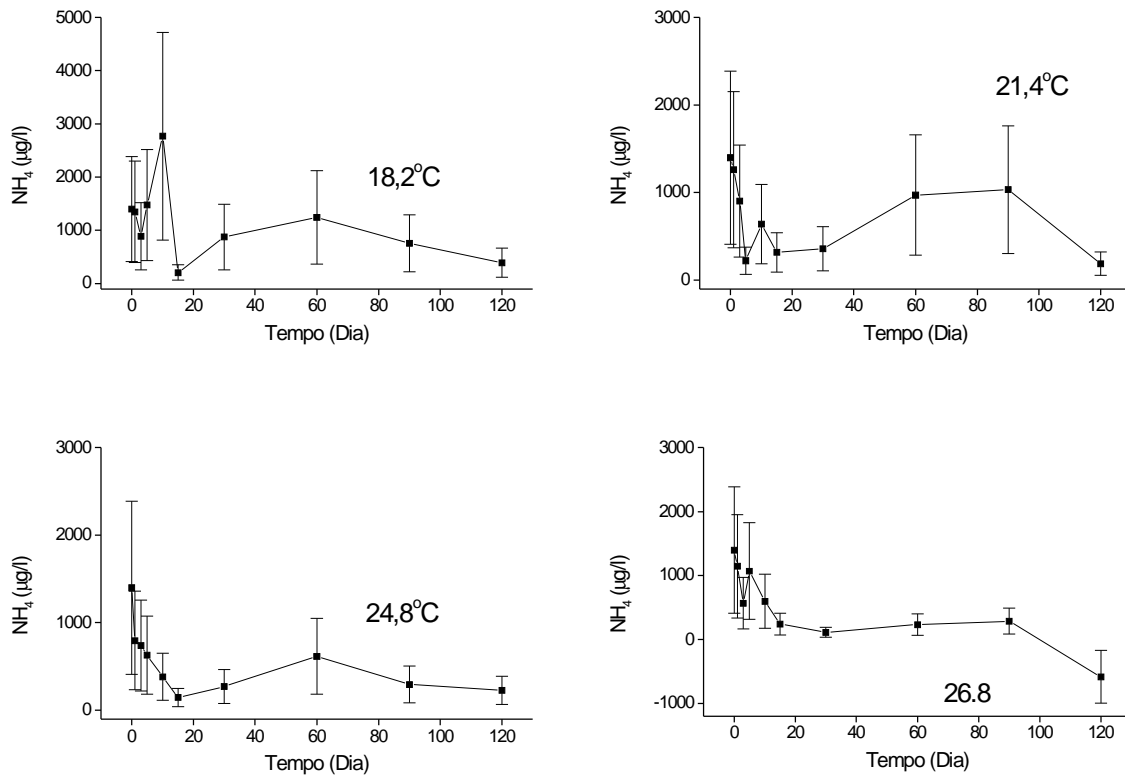


FIGURA 42 - Variação temporal do amônio nas câmaras de decomposição com *S. iversenii* e concentração elevada de oxigênio dissolvido.

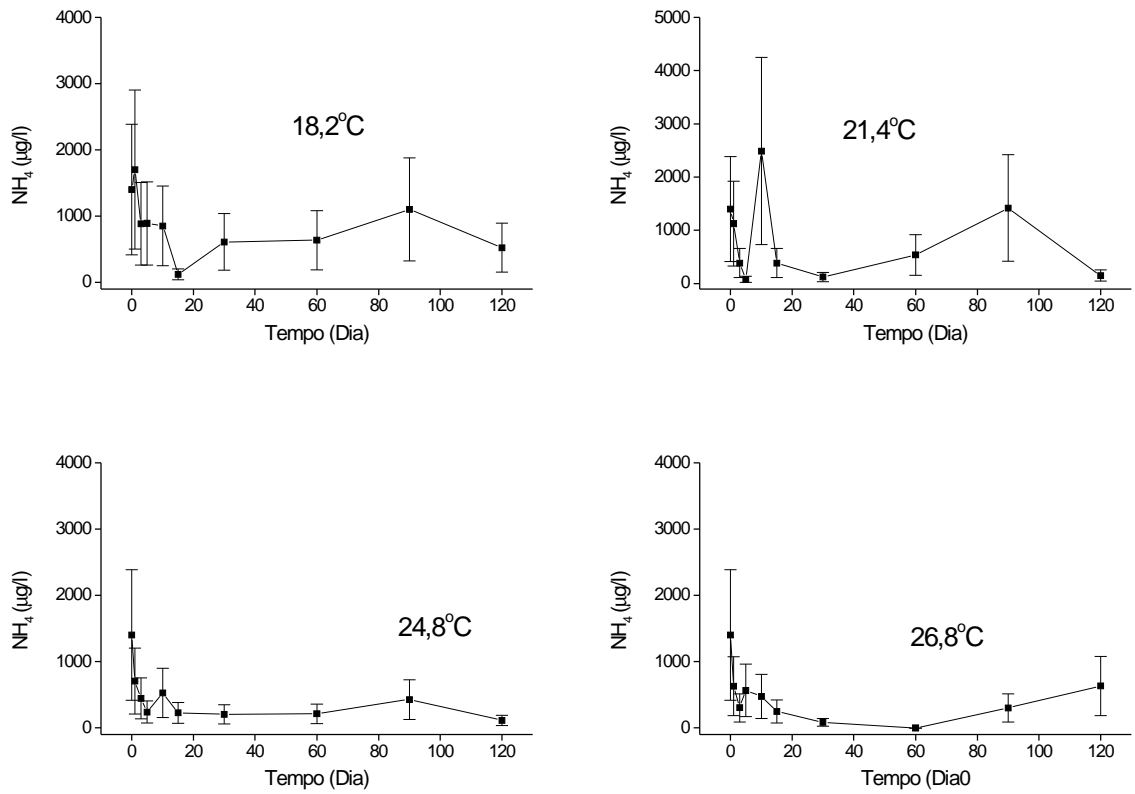


FIGURA 43 - Variação temporal do amônio nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

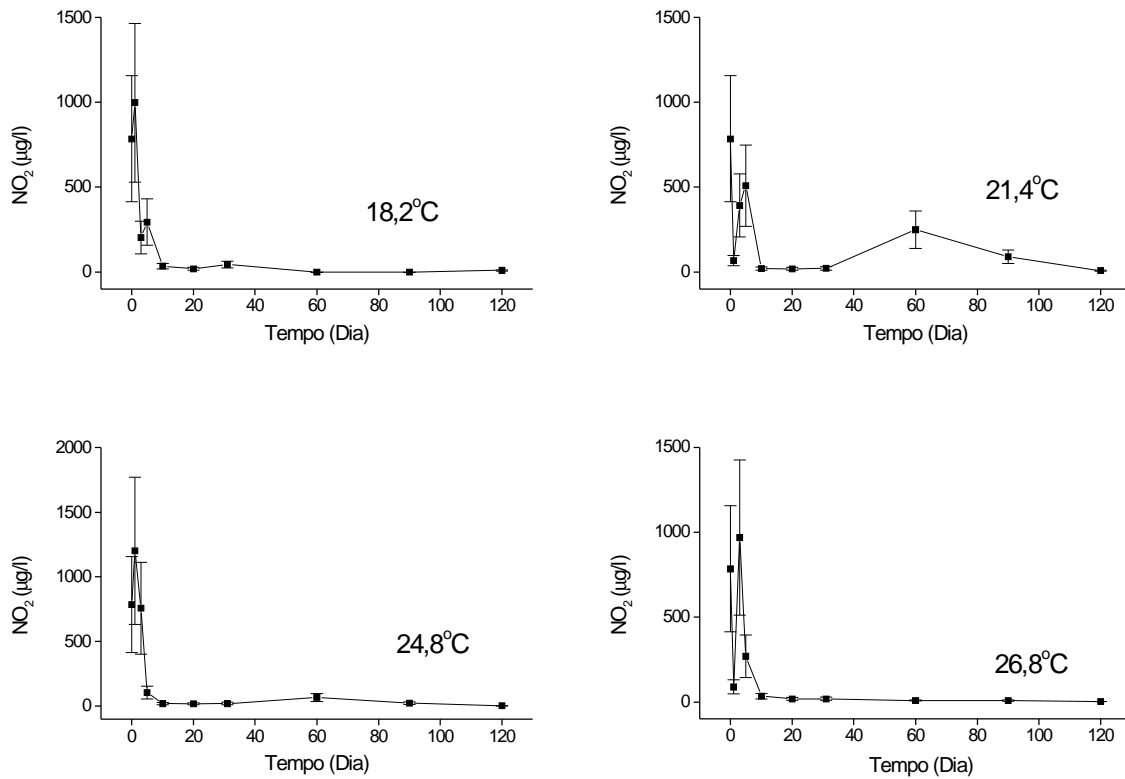


FIGURA 44 - Variação temporal do nitrito nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e concentração elevada de oxigênio dissolvido.

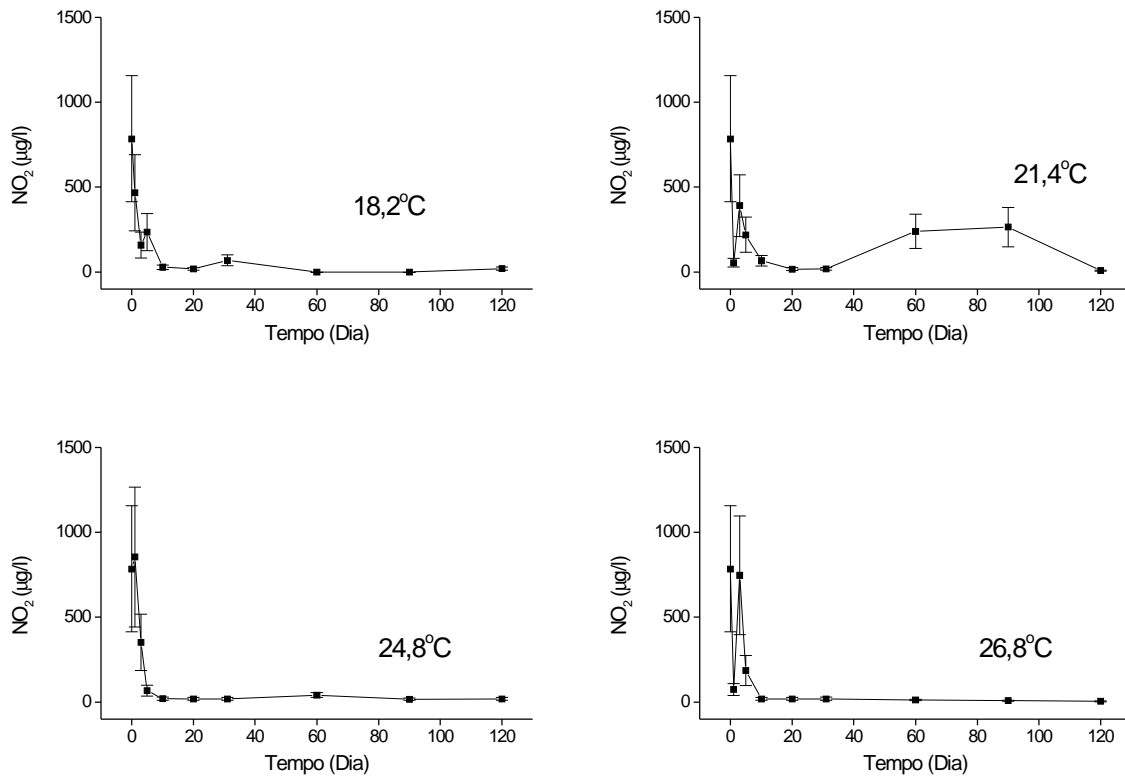


FIGURA 45 - Variação temporal do nitrito nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

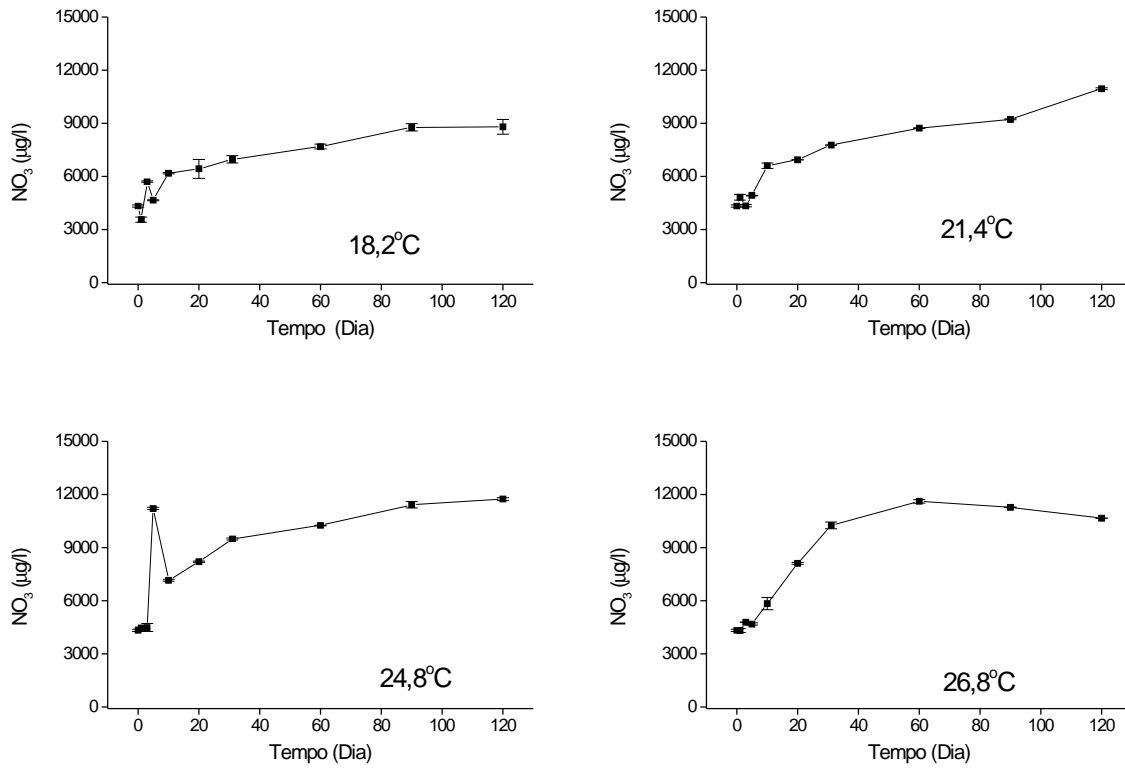


FIGURA 46 - Variação temporal do nitrato nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e concentração elevada de oxigênio dissolvido.

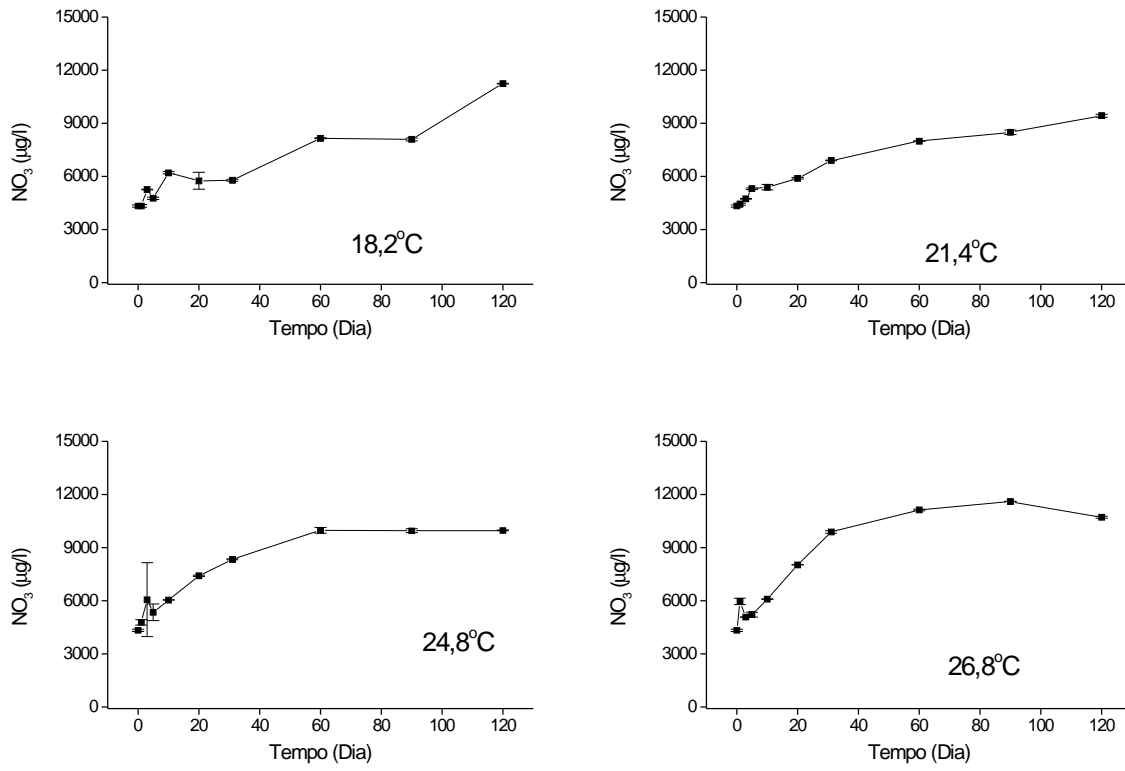


FIGURA 47 - Variação temporal do nitrato nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

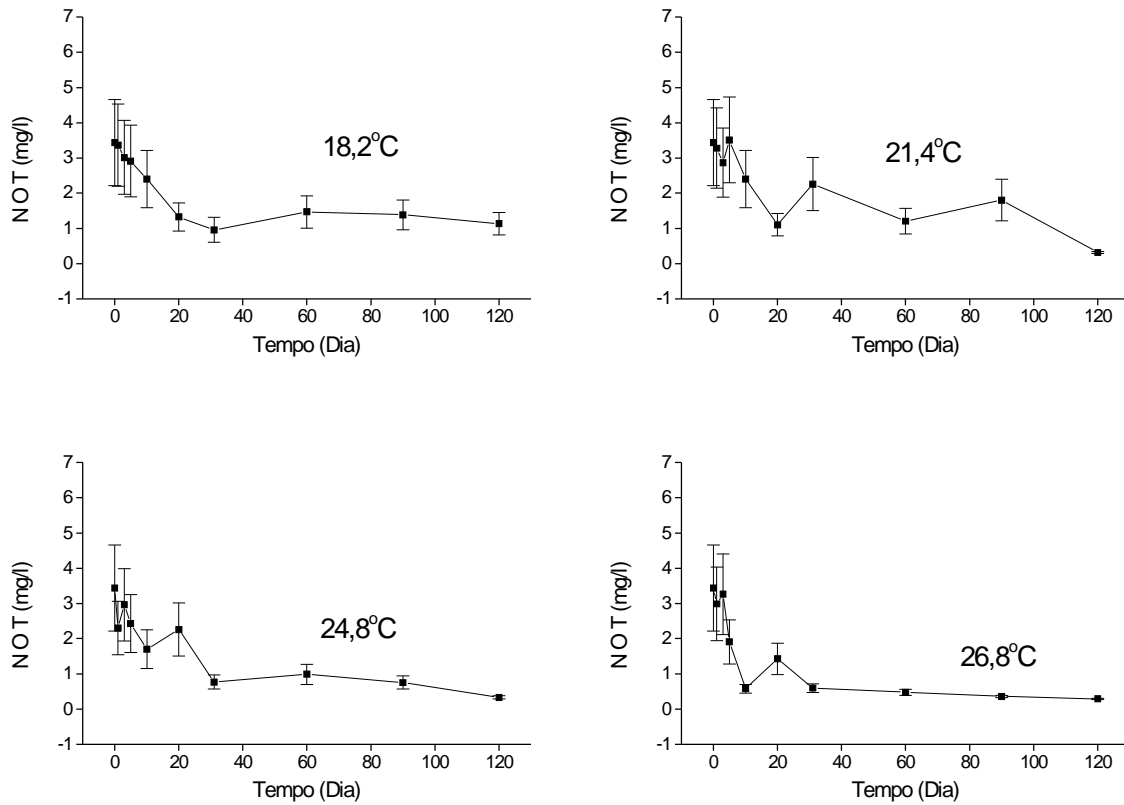


FIGURA 48 - Variação temporal do nitrogênio orgânico total nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e concentração elevada de oxigênio dissolvido.



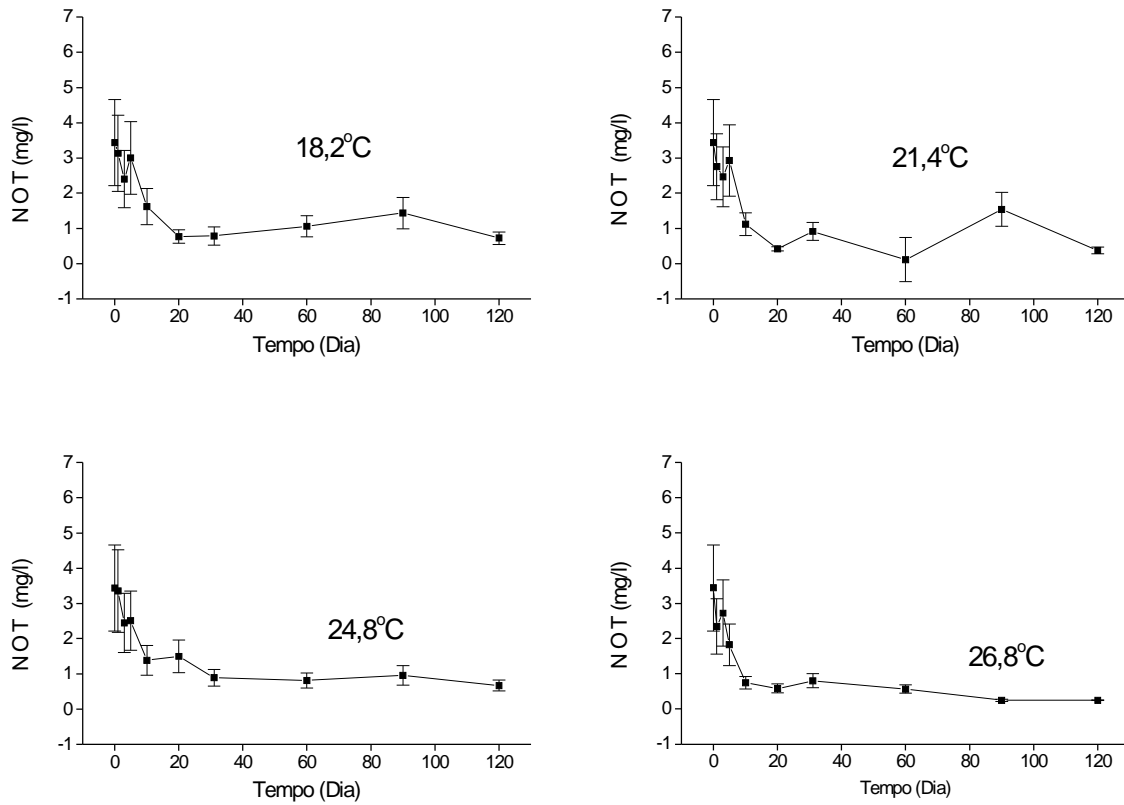


FIGURA 49 - Variação temporal do nitrogênio orgânico total nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

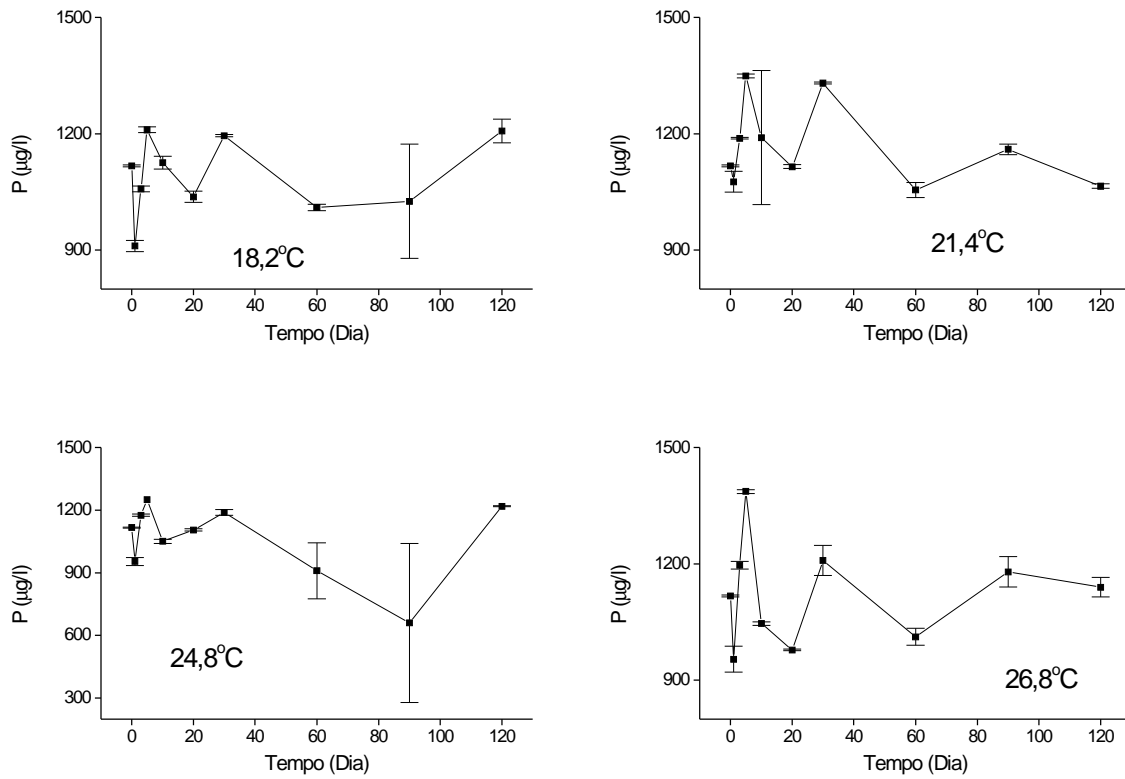


FIGURA 50 - Variação temporal de fosfato total nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e concentração elevada de oxigênio dissolvido.

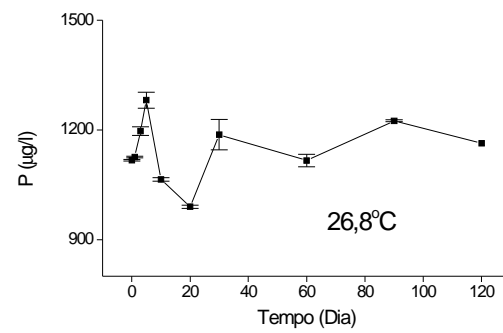
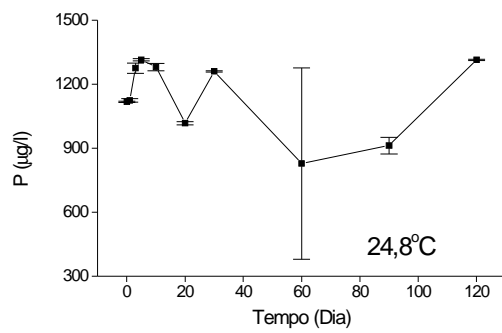
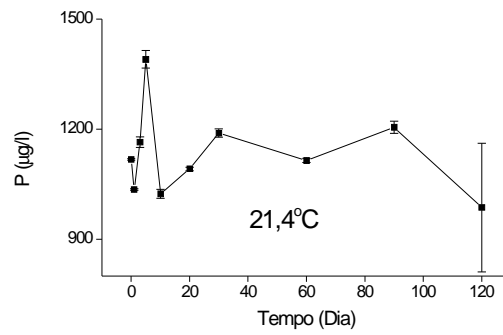
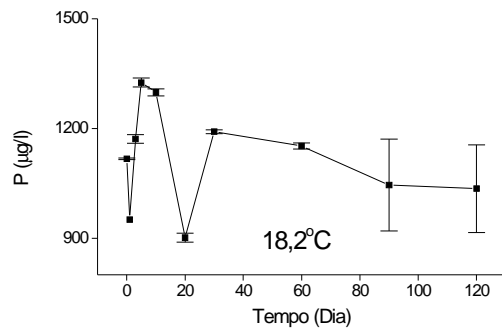


FIGURA 51 - Variação temporal de fosfato total nas câmaras de decomposição com *S. iverseii* e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

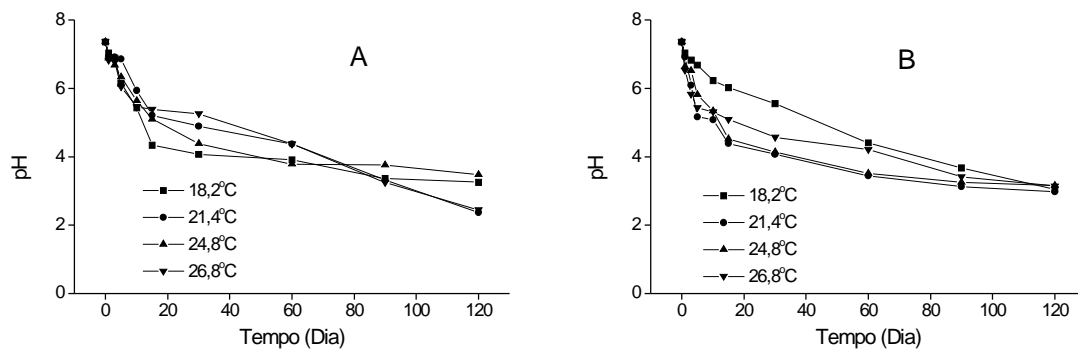


FIGURA 52 - Variações temporais do pH nas câmaras de decomposição com células íntegras de *S. iverseii*. A: concentração elevada de oxigênio dissolvido; b: concentração baixa de oxigênio dissolvido.

Comparando os processos de decomposição das células de *S. iversenii*, observa-se que a indução da lise das células favoreceu a velocidade de degradação do COD (Tabelas 1 e 3), para as duas condições experimentais (alta e baixa concentração de oxigênio dissolvido). Os valores dos coeficientes de mineralização foram mais elevados no 1º experimento ( $k_d$ : de 0,015 a 0,075 dia<sup>-1</sup>). No 2º experimento (células íntegras) os coeficiente de mineralização ( $k_3$ ) oscilaram entre 0,009 e 0,058 dia<sup>-1</sup>, provavelmente devido à resistência ao ataque microbiano. De acordo com NORRMAN *et al.* (1995), alguns substratos são rapidamente assimilados e incorporados à biomassa de microrganismos, enquanto que outros (os mais refratários e resistentes) levam mais tempo para decompor. Com a quebra das células o conteúdo protoplasmático foi liberado facilmente para o meio e mineralizado; com as células íntegras o material intra-celular levou um pouco mais de tempo para entrar em contato com meio e conseqüentemente, para se metabolizado.

Os teores finais de COC no experimento com as células rompidas ficou entre 74 a 99%, considerando as duas condições de incubação (Figura 21 B e D). Enquanto que no experimento com as células íntegras tais valores variaram entre 80 e 90% (Figura 38). Observou-se que os processos de mineralização das células rompidas foram mais afetados pela temperatura.

## 5.6. DECOMPOSIÇÃO DOS POLISSACARÍDEOS EXCRETADOS POR *S. iversenii*

Através da Tabela 4 observa-se que com exceção dos polissacarídeos de alta massa molecular na temperatura de 23,8°C mais de 50% do carbono orgânico particulado dos recursos foram compostos por frações lábeis/solúveis. Estas frações foram maiores nas incubações a 25,4°C para os dois tipos de polissacarídeos.

Os processos de decaimento para as duas frações de polissacarídeos foram mais rápidos na temperatura de 23,8°C ( $k_T = 2,47$  e  $1,73 \text{ dia}^{-1}$ ). Esta mesma temperatura proporcionou o aparecimento dos coeficientes de mineralização das frações refratárias mais elevados ( $k_4 = 0,022 \text{ dia}^{-1}$ ) para os polissacarídeos de alta massa molecular; nos de baixa massa molecular este processo foi mais rápido na temperatura de 25,4°C ( $k_4 = 0,014 \text{ dia}^{-1}$ ). CUNHA & BIANCHINI Jr. (1998) determinaram o coeficiente global de mineralização e lixiviação para carboidratos dos detritos de *Cabomba piauhyensis* ( $3,2 \text{ dia}^{-1}$ ) e para de *Scirpus cubensis* ( $2,5 \text{ dia}^{-1}$ ) sendo estes valores mais elevados do que os verificados para os coeficientes globais ( $k_T$ ) determinados para o decaimento das frações lábeis/solúveis dos polissacarídeos de *S. iversenii* (Tabela 5).

Com relação aos tempos de meia-vida (6,72 a 17,52 dias), os calculados para os processos de solubilização e mineralização das frações lábeis/solúveis foram relativamente maiores que os determinados para os processos equivalentes, verificados para carboidratos durante a decomposição de *Cabomba piauhyensis* ( $\approx 5$  horas) e *Scirpus cubensis* ( $\approx 6,5$  horas) (CUNHA & BIANCHINI Jr., 1998).

TABELA 4 - Parametrização do modelo cinético da degradação de polissacarídeos (com alta e baixa massas moleculares) excretados de *S. iversenii* (COP).

	Temp. (°C)	DP (desvio padrão)	COPLS (%)	Erro	COPL (%)	COPR (%)	Erro	$k_T$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$k_L$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_M$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_4$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$r^2$
MM alta	19,3	1,9	50,04	4,81	30,00	49,93	2,50	1,99	0,69	1,19	0,8	0,010	0,001	0,98
	23,8	1,2	36,64	5,33	18,00	63,35	3,20	2,47	1,66	1,21	1,26	0,022	0,003	0,98
	25,4	0,6	59,99	4,25	39,63	39,90	2,31	1,47	0,30	0,97	0,50	0,011	0,001	0,98
	28,1	1,0	55,34	7,60	34,47	43,84	4,62	0,94	0,34	0,59	0,35	0,012	0,003	0,96
MM baixa	19,3	1,9	68,63	1,43	41,10	31,18	0,93	0,67	0,03	0,40	0,27	0,010	0	0,99
	23,8	1,2	54,50	1,29	32,69	45,48	0,68	1,73	0,13	1,03	0,70	0,010	0	0,99
	25,4	0,6	60,97	3,25	26,37	38,82	1,86	1,29	0,19	0,56	0,73	0,014	0,001	0,99
	28,1	1,0	57,85	7,31	39,78	41,44	4,20	1,09	0,37	0,70	0,39	0,011	0,003	0,96

TABELA 5 - Parametrização do modelo cinético da degradação de polissacarídeos (com alta e baixa massas moleculares) excretados de *S. iversenii* (COD).

	Temp. (°C)	DP (desvio padrão)	COD (%)	Erro	$k_T$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$k_d$ (dia <sup>-1</sup> )	Erro	$r^2$
MM alta	19,3	1,9	20,04	1,71	1,99	0,69	0,013	0,003	0,83
	23,8	1,2	18,64	1,59	2,47	1,66	0,012	0,003	0,82
	25,4	0,6	20,36	1,55	1,47	0,30	0,010	0,002	0,83
	28,1	1,0	20,87	2,82	0,94	0,34	0,016	0,006	0,63
MM baixa	19,3	1,9	27,53	7,50	0,67	0,03	0,062	0,040	0,34
	23,8	1,2	21,81	2,58	1,73	0,13	0,028	0,009	0,78
	25,4	0,6	34,60	5,95	1,29	0,19	0,092	0,034	0,66
	28,1	1,0	21,07	1,38	1,09	0,37	0,011	0,002	0,87



Investigando a utilização da MOD pela comunidade bacteriana AMON & BENNER (1996) verificaram que as frações dos polissacarídeos com massas moleculares mais baixas são degradadas mais rapidamente, em questão de dias e/ou semanas, a outra fração, com alta massa molecular leva meses para ser utilizada pelas bactérias, o que foi verificado para os resultados dos polissacarídeos excretados de *S. iversenii*. Para os polissacarídeos de altas massas moleculares, o tempo médio de meia-vida do COPR foi cerca de 53,9 dias; para os de baixa (massa molecular) o tempo médio de meia-vida foi de 61,6 dias, o que demonstra ser um processo mais lento.

O tempo de meia-vida relativo ao coeficiente global de mineralização dos polissacarídeos de alta massa molecular foi menor (0,28 dia) para a temperatura de 23,8°C e maior (0,73 dia) na temperatura de 28,1°C; para os de baixa massa molecular o menor tempo de meia-vida (0,40 dia) foi determinado para a temperatura de 23,8°C e o maior (1,03 dia) na de 19,3°C.

ARNOSTI *et al.* (1994) estudando a degradação de quatro polissacarídeos (sendo dois isolados de excretados de algas), observaram que todos foram degradados muito rapidamente depois de 70 h. O tempo determinado neste estudo ficou mais próximo aos estimados para as frações solúveis/lábeis dos polissacarídeos de baixa massa molecular que apresentaram tempos de meia-vida na escala de horas, para os de alta massa molecular este tempo foi calculado em vários dias.

Os ajustes das cinéticas de decaimento de COP determinaram coeficientes de determinação ( $r^2$ ) entre 0,96 e 0,98 para os polissacarídeos de alta massa molecular e entre 0,96 a 0,99 para os de baixa (Figuras 53 e 54). Para as cinéticas do COD dos polissacarídeos com massa molecular alta, estes coeficientes variaram entre 0,63 e 0,83; para os polissacarídeos com massa molecular baixa, tais coeficientes oscilaram entre 0,34 a 0,87. Supõe-se que os valores baixos de  $r^2$  possam ser devido aos processos de formação de substâncias dissolvidas refratárias (Figuras 55 e 56).

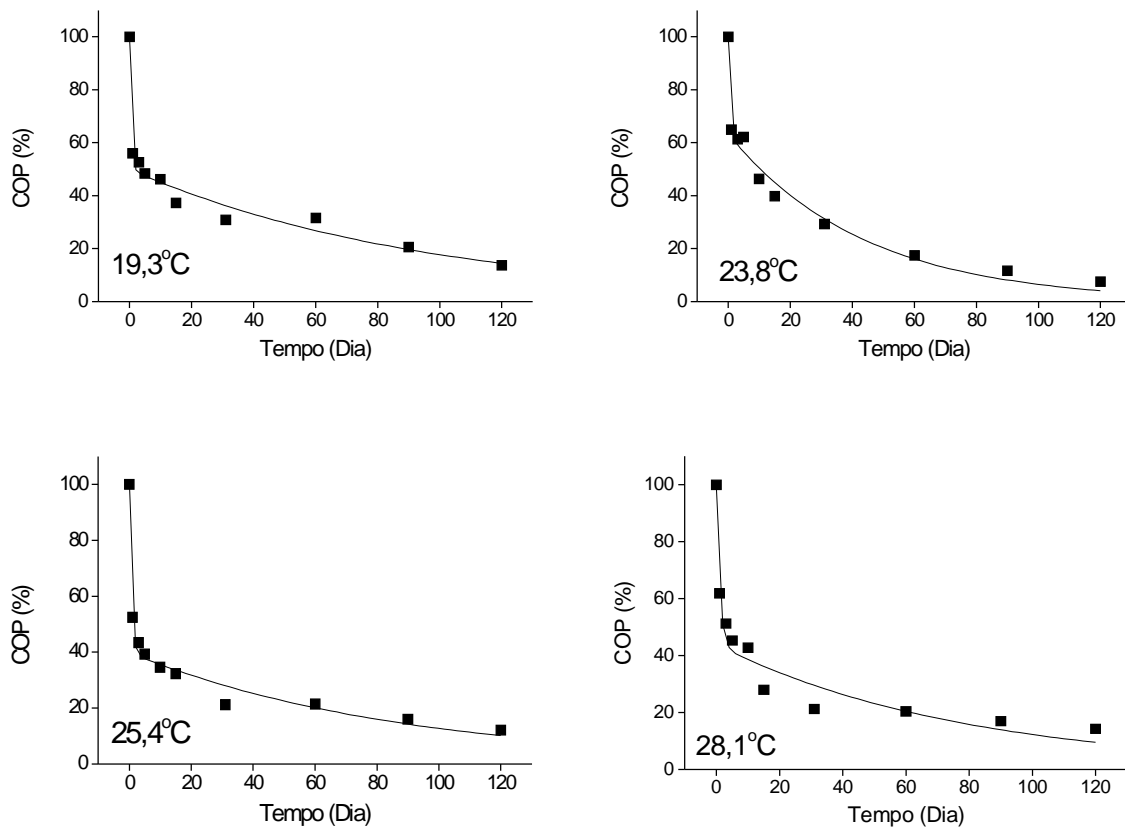


FIGURA 53 - Variação temporal do COP durante a degradação de polissacarídeos de alta massa molecular excretados de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas.

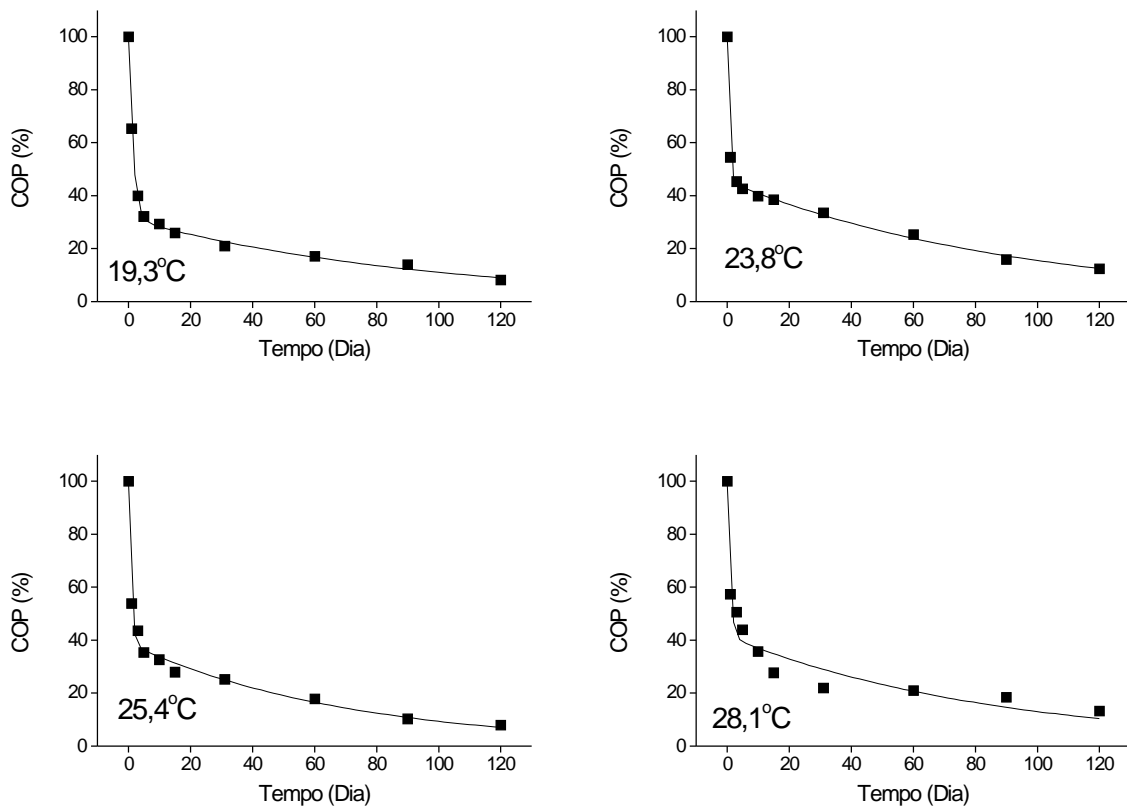


FIGURA 54 - Variação temporal do COP durante a degradação de polissacarídeos de baixa massa molecular excretados de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas.

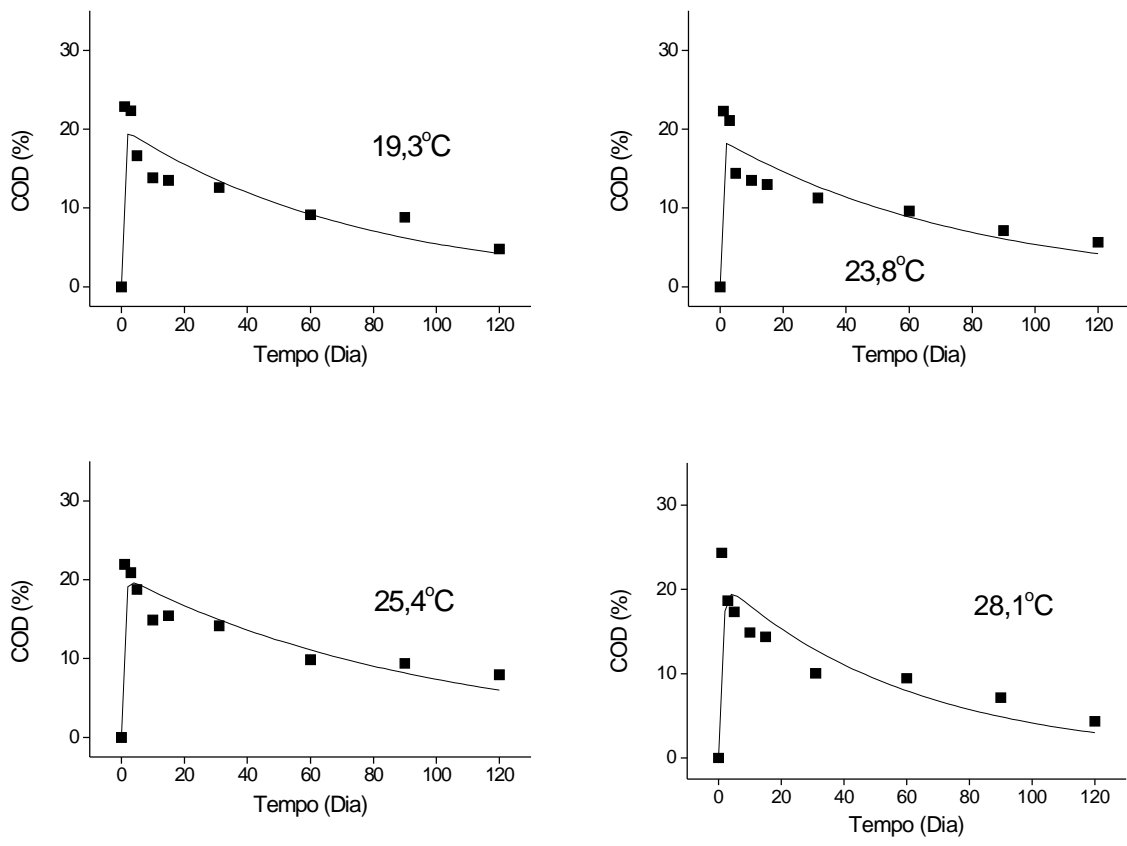


FIGURA 55 - Variação temporal do COD durante a degradação de polissacarídeos de alta massa molecular excretados de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas.

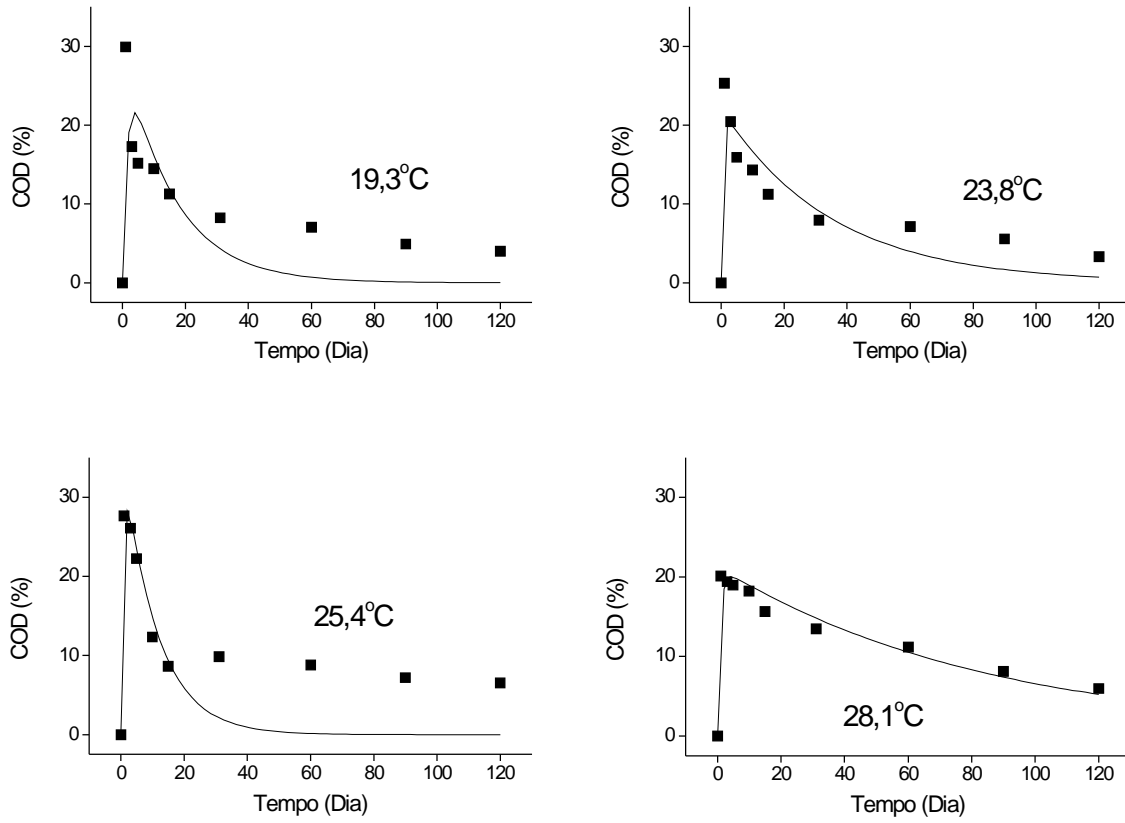


FIGURA 56 - Variação temporal do COD durante a degradação de polissacarídeos de baixa massa molecular excretados de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas.

OGURA & GOTOH (1974) descrevendo a decomposição de carboidratos dissolvidos, derivados de diatomáceas, também identificaram as ocorrências dessas duas fases (uma rápida e outra lenta); para a espécie *S. iversenii*, essas fases foram determinadas para o decaimento do COP (Figura 53 e 54).

Para os carboidratos de diatomáceas utilizados por OGURA & GOTOH (1974) foram calculados coeficientes de decomposição para a fase rápida de  $0,81 \text{ dia}^{-1}$  e de  $0,016 \text{ dia}^{-1}$  para a fase lenta, estes resultados são semelhantes aos valores obtidos para o coeficiente de mineralização do COD ( $k_3$ ) para os polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares, em todas as temperaturas consideradas (Tabela 4).

OGURA (1975) descrevendo a decomposição da matéria orgânica dissolvida da água do mar verificou que o decaimento também ocorreu em duas fases; uma rápida, na qual os coeficientes variaram entre  $0,01$  e  $0,09 \text{ dia}^{-1}$ . Estes valores foram semelhantes aos determinados para os coeficientes de mineralização do COD (Tabela 5). Os coeficientes mais baixos de decaimento foram descritos para as frações mais refratárias (de  $0,001$  e  $0,009 \text{ dia}^{-1}$ ), estes valores foram menores do que todos os determinados para os polissacarídeos da espécie estudada (Tabela 4;  $k_4$ ), tais diferenças podem ser por conta da origem do COD marinho.

Os coeficientes de mineralização do COD ( $k_3$ ) dos polissacarídeos de alta massa molecular provavelmente sofreram uma ligeira influência da temperatura, já que a incubação a  $28,1^\circ\text{C}$  foi na qual onde ocorreu o processo mais rápido (Figura 57). Ao contrário do verificado para a degradação do COD com alta massa molecular, na temperatura de  $28,1^\circ\text{C}$ , as frações dissolvidas dos polissacarídeos com baixa massa molecular apresentaram o menor coeficiente de degradação.

Comparando-se os coeficientes de mineralização do COD dos polissacarídeos ( $k_3$ ) verifica-se que os coeficientes dos compostos com massas moleculares altas foram, em média, menores que os obtidos para o COD de polissacarídeos com baixa massa molecular (Figura 57 A e B). Os coeficientes de mineralização das frações refratárias do COP aparentemente também não foram influenciados pela temperatura.

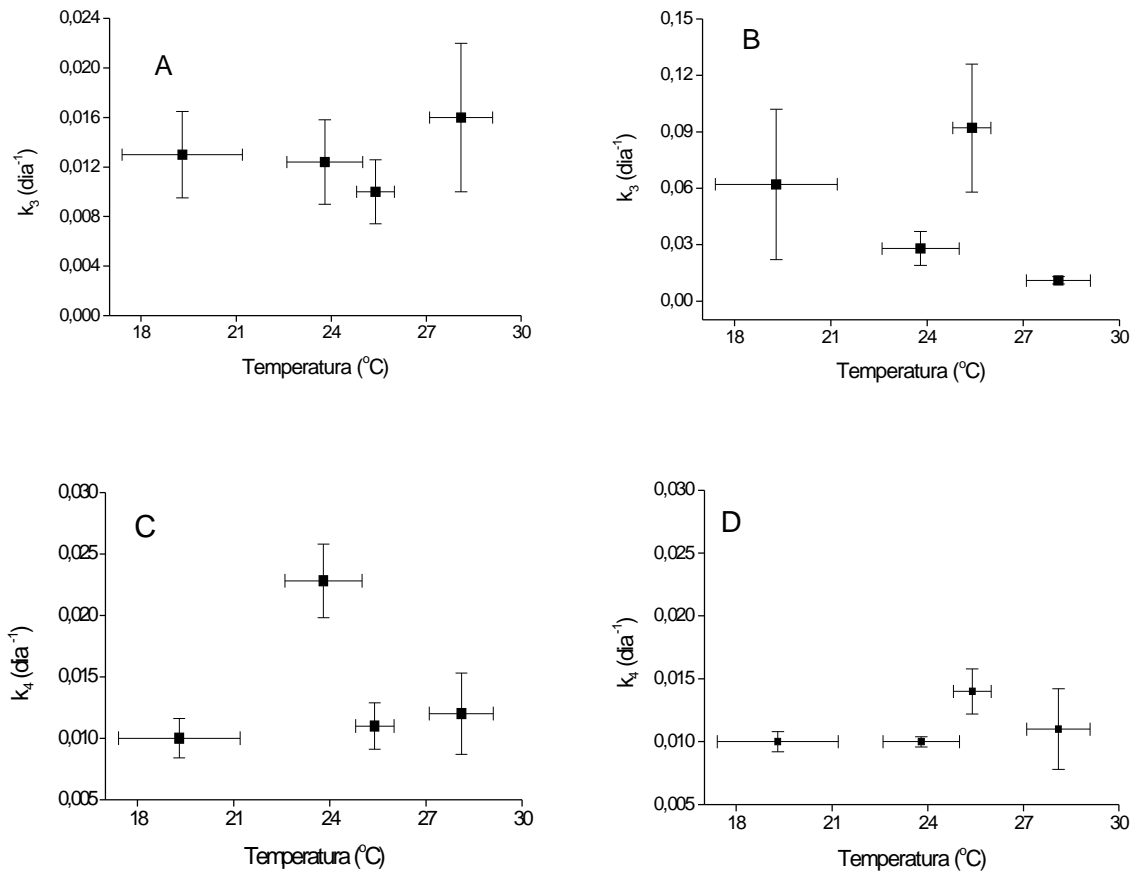


FIGURA 57 - Variação dos coeficientes de mineralização do COD e do COPR de polissacarídeos com alta (A e C) e baixa massas moleculares (B e D).

COLOMBO (2001) considerou que os polissacarídeos excretados de *Anabaena spiroides* fossem constituídos por apenas uma fração, para a qual determinou que o coeficiente de decaimento foi  $0,001 \text{ dia}^{-1}$  (tempo de meia-vida: 6,87 dias), o que demonstra que tais polissacarídeos tiveram um processo de degradação lento. O coeficiente de degradação obtido para os polissacarídeos excretados de *Anabaena spiroides* possui um valor que pode ser igualado aos obtidos para as mineralização das frações refratárias do COP de *S. iversenii* (de  $0,010$  a  $0,0014 \text{ dia}^{-1}$ ).

Para JENSEN (1983) o carbono orgânico extracelular é altamente assimilável pela comunidade heterotrófica, sendo que os produtos de baixo peso molecular são assimilados com as taxas mais elevadas (ITURRIAGA & ZSOLNAY, 1981). Entre as substâncias excretadas os carboidratos constituem-se no substrato mais importante para o crescimento bacteriano (HANISH & SIMON, 1996).

Alguns fatores influenciam a quantidade de substâncias excretadas pelo fitoplâncton tais como: a idade das células que dependendo do período de crescimento, podem excretar mais ou menos polissacarídeos (BUNTER & SIMON, 1999); os meios de cultura, que podem influenciar o comportamento fisiológico das algas; a intensidade luminosa, que por sua vez, influencia o processo de fotossíntese e conseqüentemente, a excreção de substâncias pelas algas (ZLOTNIK & DUBLINSKY, 1989).

O COD consiste em conjunto de diferentes substâncias com baixas ( $x \leq 1 \text{ kDa}$ ) e altas (principalmente  $x \geq 10 \text{ kDa}$ ) massas moleculares. Foi sugerido que as bactérias normalmente utilizam os compostos com baixo peso molecular, sendo que os polissacarídeos excretados por diatomáceas são mais utilizados do que os liberados por cianofíceas (CHO *et al.*, 1997). FREIRE-NORDI & VIEIRA (1996) demonstraram que os microrganismos transformam as moléculas de altos pesos moleculares em substâncias de baixos pesos moleculares para poderem utilizar destas como fonte de carbono. Corroborando esta teoria, MAURIN *et al.* (1997) demonstraram que as bactérias assimilam rapidamente as moléculas de baixo peso molecular. Segundo AGUSTI (1998), as bactérias heterotróficas não podem utilizar diretamente moléculas de alto peso molecular como



substrato, antes de serem utilizadas, as macromoléculas são enzimaticamente degradadas em unidades menores, através de exoenzimas hidrolíticas. Os produtos excretados pelo fitoplâncton são dominados por substâncias com pesos moleculares baixos que são rapidamente e preferencialmente consumidas; a quantidade, em lugar da qualidade dos excretados pelo fitoplâncton, não tem importância para comunidade heterotrófica (MAURIN *et al.*, 1997).

No geral com base no experimento realizado foi possível verificar que tanto as mineralizações dos polissacarídeos com baixa massa molecular quanto os com alta ocorreram através de 3 caminhos. Em média, os processos rápidos ( $t_{1/2} \approx 0,55$  dia) converteram 30,51% e 34,2% dos polissacarídeos com alta e baixa massas moleculares, respectivamente. O polissacarídeos com baixa massa molecular geraram mais formas solúveis (valor médio: 26,2%) que os de alta massa molecular (valor médio: 19,9%). Os coeficientes de mineralização das frações solúveis dos polissacarídeos com baixa massa molecular foram, em média, 3,8 vezes mais elevados que os verificados para as frações solúveis dos polissacarídeos com massa molecular alta. Os coeficientes de mineralização das frações refratárias dos polissacarídeos (COPR) foram equivalentes, no entanto, em termos médios, o  $k_4$  para os polissacarídeos com massa molecular alta apresentou-se ligeiramente mais elevado (valor médio:  $0,014 \text{ dia}^{-1}$ ). O aumento da temperatura tendeu a incrementar a quantidade de material mineralizado através da 1ª rota (processos respiratórios e reações de oxidação química) na degradação dos polissacarídeos com massa molecular alta. O contrário desta tendência verificou-se para os polissacarídeos com massa molecular baixa (Figura 58).

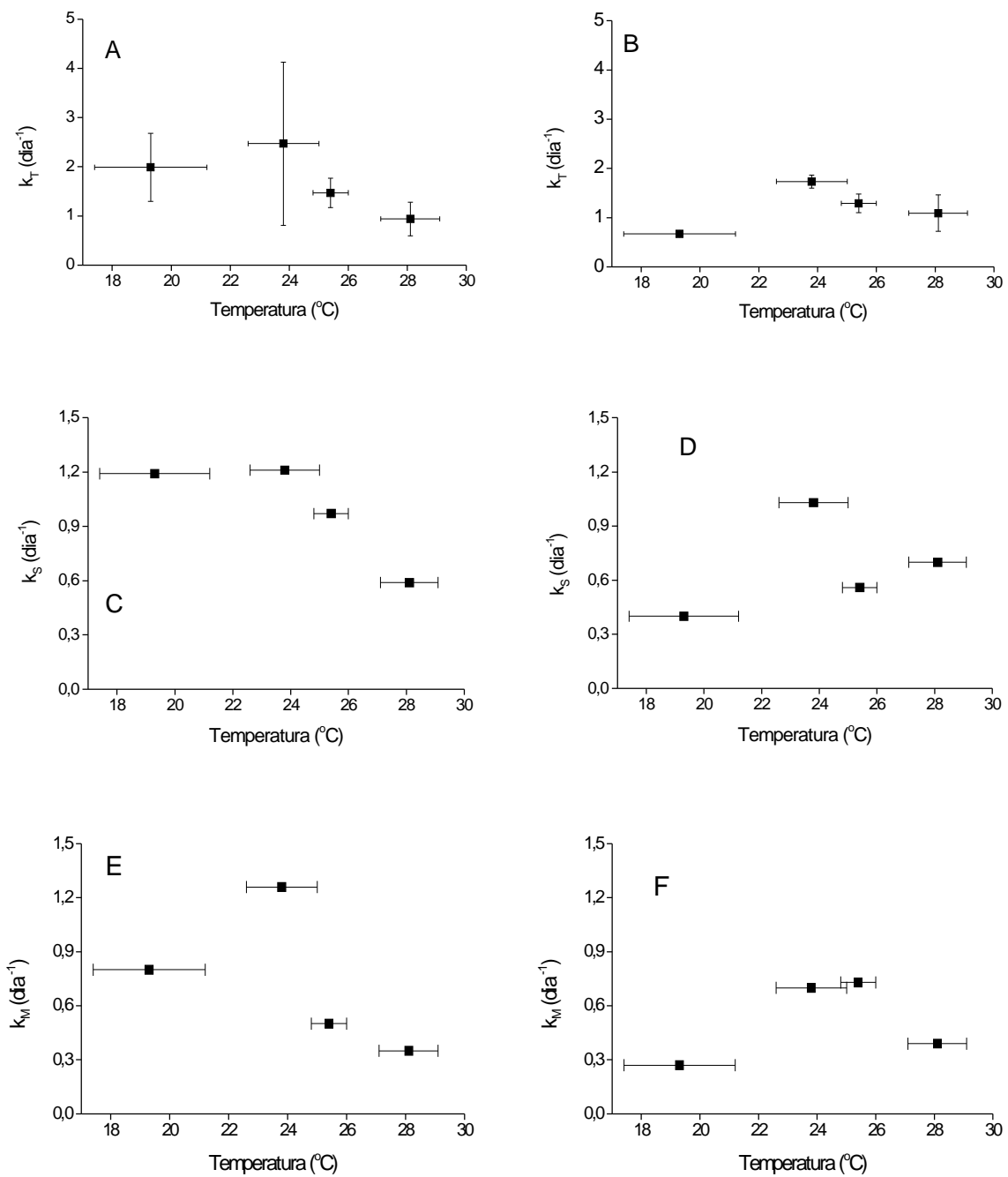


FIGURA 58 - Variações dos coeficientes globais de decaimento do COP ( $k_T$ ): A e B; dos coeficientes de lixiviação (C e D) e dos coeficientes de mineralização (E e F); dos polissacarídeos com altas (A, C e E) e baixas massas moleculares (B, D e F).

Através das Tabelas 6 a 13 é possível verificar os efeitos da degradação sobre os polissacarídeos excretados de *S. iversenii*, através das variações das concentrações de monômeros. Observa-se que nem todos os açúcares determinados na composição original (dia zero) dos polissacarídeos foram detectados como no caso dos açúcares ácidos (ácidos galacturônico e glicurônico), pois estes provavelmente ficaram retidos nas colunas de troca iônica quando se prepararam as amostras para as análises cromatográficas (HPLC-PAD). Observa-se também que apesar da ribose que não fazer parte da composição monomérica do PED, esta pentose apareceu nas amostras (Tabelas 6, 7, 8, 9, 12 e 13). Provavelmente, tais registros decorreram da presença de ribose de origem intracelular e/ou da mucilagem das bactérias (PÍCCOLO, 1999). Outra hipótese para a ocorrência da ribose seria sua origem a partir de restos de RNA das células algais. Nos estudos de degradação de células de algas desenvolvidos por COWIE *et al.* (1972), os açúcares mais refratários foram xilose, manose, galactose, fucose e ramnose, que também são considerados os mais abundantes da parede celular das algas. Enquanto que a glicose, arabinose e ribose foram considerados açúcares intracelulares.

Por meio das Tabelas 6 a 8 e 10 à 12 é possível observar que os polissacarídeos (com altas e baixas massas moleculares) excretados por *S. iversenii* no início das incubações (dia zero) continham a mesma composição. Contudo, as concentrações de alguns açúcares são maiores para os polissacarídeos de alta massa molecular.

A fucose foi o açúcar que sempre ocorreu em todos os dias e incubações, sendo que nas temperaturas mais elevadas (25,4°C e 28,1°C) e nos últimos dias, suas concentrações foram menores, indicando que nestas condições os microrganismos consumiram mais do que nas temperaturas mais baixas, levando-se em conta que os outros açúcares já foram consumidos. Entretanto, em outros dias, as concentrações de glicose foram maiores até mesmo das de fucose. Nota-se que a galactose, nos últimos dias (90 a 120º) de experimento, não foi mais detectada.

TABELA 6 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular alta excretado por *S. iverseii*, 19,3°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,561	0,067	0,029	0,284	0,072	0,047	0,017	
1	0,027	0,025		0,009	0,032	0,004		
2	0,296	0,014		0,045	0,012	0,010		
4	0,152	0,026	0,007	0,049	0,021	0,022		
6	0,025			0,009	0,003			
15	0,092			0,040	0,022	0,016		0,010
25	0,349	0,020	0,011	0,167	0,131	0,025		0,064
35	0,195			0,056	0,017	0,006		
45	0,168	0,011	0,006	0,068	0,042	0,015	0,008	0,020
90	0,188	0,008		0,041	0,013	0,006		
120	0,012			0,004	0,026	0,005		0,010

TABELA 7 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular alta excretado por *S. iverseii*, 23,8°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,561	0,067	0,029	0,284	0,073	0,047	0,017	
1	0,427	0,031	0,016	0,258	0,036	0,037		0,013
2	0,456	0,049	0,015	0,110	0,040	0,016		
4	0,324	0,020	0,007	0,100	0,017	0,017		
6	0,230	0,018	0,006	0,044	0,014	0,010		
15	0,236	0,019		0,082	0,018	0,009		
25	0,126	0,006		0,041	0,023	0,007		
35	0,091	0,004		0,024	0,006	0,006		
45	0,079	0,012	0,005	0,034	0,049	0,012		0,042
90	0,007		0,001	0,003	0,006	0,003		
120	0,016	0,008			0,038	0,007		0,020

TABELA 8 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular alta excretado por *S. iverseii*, 25,4°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,561	0,067	0,029	0,284	0,073	0,047	0,017	
1	0,661	0,069	0,033	0,300	0,044	0,043		0,019
2	0,516	0,035	0,013	0,222	0,074	0,036	0,004	0,052
4	0,459	0,025	0,012	0,171	0,071	0,023		0,029
6	0,327	0,018	0,006	0,062	0,015	0,009		
15	0,316	0,025	0,007	0,050	0,095	0,040		0,040
25	0,149	0,005	0,004	0,049	0,017	0,007		
35	0,066	0,005		0,015	0,006	0,006		
45	0,014	0,005	0,001	0,007	0,010	0,007		0,011
90	0,002				0,004			
120	0,004			0,004	0,058	0,005		0,016

TABELA 9 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular alta excretado por *S. iverseii*, 28,1°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,561	0,067	0,029	0,284	0,073	0,047	0,017	
1	0,463	0,047	0,016	0,121	0,059	0,034		
2	0,646	0,067	0,021	0,220	0,054	0,027		0,044
4	0,631	0,040	0,015	0,203	0,038	0,029		
6	0,501	0,022	0,009	0,258	0,037	0,027		0,013
15	0,263	0,008	0,005	0,143	0,034	0,014		0,014
25	0,182	0,005		0,054	0,024	0,008		
35	0,005			0,004	0,030		0,025	
45	0,005			0,006	0,041	0,010		0,064
90	0,003				0,010			
120	0,004				0,015			

TABELA 10 – Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de baixa massa molecular excretado por *S. iversenii*, 19,3°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,314	0,063	0,030	0,148	0,035	0,038		
1	0,005	0,036		0,002	0,020			
2	0,221	0,042	0,015	0,050	0,026	0,019		
4	0,298	0,023	0,011	0,086	0,025	0,014		
6	0,178	0,015	0,006	0,049	0,022	0,024		
15	0,123	0,013		0,040	0,020	0,023		
25	0,133	0,022	0,006	0,041	0,022	0,018		
35	0,035			0,003	0,004			
45	0,095	0,006		0,020	0,012	0,006		
90	0,061			0,028	0,028	0,011		0,019
120	0,006			0,001	0,007			

TABELA 11 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular baixa excretado por *S. iversenii*, 23,8°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,314	0,063	0,030	0,147	0,035	0,038		
1	0,127	0,054	0,051	0,005	0,020	0,003		
2	0,194	0,030	0,014	0,049	0,029	0,023		0,034
4	0,191	0,028	0,009	0,049	0,016	0,019		
6	0,123	0,015	0,006	0,021	0,010	0,009		
15	0,133	0,014		0,04	0,175	0,022		
25	0,011			0,003	0,005	0,005		
35	0,094	0,004		0,018	0,008	0,006		
45	0,042	0,005		0,004	0,007	0,000		
90	0,027	0,004		0,005	0,015	0,000		
120	0,010			0,002	0,038	0,000		

TABELA 12 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular baixa excretado por *S. iversenii*, 25,4°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,314	0,063	0,030	0,148	0,035	0,038		
1	0,275	0,067	0,035	0,066	0,039	0,045		
2	0,226	0,038	0,015	0,046	0,027	0,013	0,006	0,013
4	0,094	0,024	0,008	0,045	0,015	0,015		
6	0,126	0,019	0,004	0,024	0,009	0,009		
25	0,438	0,015		0,165	0,026			
35	0,061	0,006		0,012	0,006	0,003		
45	0,011			0,003	0,006			
90	0,009			0,005	0,011			
120	0,010				0,006			

TABELA 13 - Concentrações de açúcares provenientes da degradação de polissacarídeo de massa molecular baixa excretado por *S. iversenii*, 28,1°C.

Concentração (mg/l)								
Dia	Fucose	Ramnose	Arabinose	Galactose	Glicose	Man/Xil	Ribose	Frutose
0	0,314	0,063	0,030	0,148	0,035	0,038		
1	0,393	0,065	0,028	0,143	0,047	0,042		0,029
2	0,213	0,031	0,010	0,038	0,026	0,23		
4	0,200	0,022		0,058	0,023	0,03		
6	0,012	0,000		0,005	0,003			
15	0,065	0,008		0,009	0,014	0,007		
25	0,147	0,013	0,004	0,049	0,021	0,017	0,007	0,018
35	0,034	0,005		0,008	0,019	0,004	0,009	0,009
45	0,006			0,001	0,015	0,005		0,007
90	0,002				0,005			
120	0,006			0,002	0,007			

Através da Figura 15 (item 5.3) observa-se que as contribuições dos açúcares manose/xilose, ramnose e arabinose, nas composições dos polissacarídeos foram

pequenas; as concentrações apresentadas por esses monômeros ao longo do experimento também foram baixas.

Para as incubações com os polissacarídeos de alta massa molecular, a 19,3°C, em torno do 25º dia, houve um aumento nas concentrações da fucose, galactose e da glicose. Nas incubações a 23,8°C os três açúcares apresentaram decaimento. Para 25,4°C os açúcares foram formados e consumidos, este comportamento foi evidenciado pelas concentrações de glicose. Pequenos incrementos nas concentrações da fucose e galactose foram notados na temperatura de 28,1°C; para glicose tal elevação de concentração foi registrada no 45º dia (Tabela 9).

Na degradação dos polissacarídeos de baixas massas moleculares a 19,3°C houve um grande consumo dos três açúcares (fucose, galactose e glicose) no primeiro dia de incubação. Na temperatura de 23,8°C o consumo intenso só foi observado para a galactose, sendo que no 15º dia houve formação de glicose em virtude do consumo da fucose, este fato foi observado na incubação sob temperatura de 25,4°C para os mesmos monômeros. Na temperatura de 28,1°C ficou evidenciado que as concentrações máximas dos monômeros ocorreram no 25º dia, sendo que para a glicose a formação e consumo foram processos mais lentos, em relação aos demais açúcares.

Através da Figura 15 (item 5.3) observa-se que o açúcar predominante foi a galactose. Entretanto, as maiores concentrações finais foram verificadas para a fucose, que provavelmente deu suporte energético aos microrganismos. O comportamento dos monômeros xilose/manose foi semelhante aos dos outros açúcares, exceto para as temperaturas de 25,4 e 28,1°C, nas quais ocorreram picos no 45º dia e posteriormente, estes açúcares desapareceram e só voltaram a ocorrer, novamente, no último dia.

Os microrganismos podem utilizar os açúcares (monômeros e/ou dímeros), por meio de três vias: 1) oxidações; 2) incorporações a biomassa e 3) transformações em produtos de ressíntese, que poderão sofrer um rearranjos (não enzimáticos) e formar novos compostos, tais como: substâncias húmicas.



No experimento de decomposição desenvolvido por PÍCCOLO (1999), as concentrações dos açúcares constituintes dos polissacarídeos excretados de *Anabaena spiroides* foram semelhantes (tanto da fração A: polissacarídeos de alta massa molecular como da fração B: polissacarídeos de baixa massa molecular) as obtidas para os polissacarídeos de *S. iversenii*.

COLOMBO (2001) descreveu que os açúcares livres de *Anabaena spiroides* contribuíram muito pouco como substrato para bactérias, com exceção da glicose que apresentou uma alta concentração. Para os polissacarídeos excretados de *S. iversenii* supõe-se que o açúcar que mais contribuiu foi a fucose, provavelmente devido a maior disponibilidade.

## 5.7. O CONSUMO DE OXIGÊNIO

Tendo em vista que o consumo de oxigênio está estequiometricamente relacionado com a formação de CO<sub>2</sub> e com a produção de biomassa de microrganismos (CHARACKLIS, 1990), as determinações dos consumos de oxigênio têm sido utilizadas, com freqüência, para a avaliação dos processos de mineralização de ecossistemas aquáticos (BIANCHINI Jr., 1999b; FARJALLA, *et al.* 1999).

Através das Figuras 59 a 62 são apresentadas as cinéticas de consumo de oxigênio, decorrentes das mineralizações aeróbias dos diferentes recursos de *S. iversenii*. Os valores de consumo apresentados nestas figuras tiveram descontados os efeitos das mineralizações das amostras de água do reservatório de Barra Bonita (frascos controle), através da inclusão da Equação 11 ao modelo cinético.

Com base nas determinações das concentrações iniciais e finais de carbono dos recursos em questão (células íntegras e rompidas e polissacarídeos com alta e baixa massas moleculares) e dos frascos contendo apenas água do reservatório (frasco controle), foram estimadas as quantidades de carbono oxidado ( $\Delta$ ) durante o processo de mineralização aeróbia (Tabela 14). Os valores dos consumos máximos de oxigênio ( $OC_{máx}$ ) e dos coeficientes de desoxigenação ( $k_d$ ) foram calculados a partir dos ajustes dos resultados ao modelo proposto através da Equação 12. Para a estimativa da estequiometria global, ou seja, da quantidade total de oxigênio envolvido na oxidação do carbono de cada recurso, os valores acumulados de consumo de oxigênio ( $OC_{máx}$ ) foram divididos pelas diferenças entre as concentrações iniciais e finais de carbono (Tabela 14). Nesta tabela também são apresentados os erros dos parâmetros ( $OC_{máx}$  e  $k_d$ ), relativos aos ajustes cinéticos, assim como os coeficientes de determinação ( $r^2$ ).

Do ponto de vista cinético, notou-se que os consumos de oxigênio, observados para as células de algas (íntegras e rompidas) e dos polissacarídeos (alta e baixa massas moleculares) foram similares aos observados por BITAR (1995), LEMOS (1995) e ANTONIO

TABELA 14 - Parâmetros do modelo cinético de consumo de oxigênio, a partir da mineralização de recursos provenientes de *S. iverseii*

	T (°C)	DP (desvio padrão)	OC <sub>máx</sub> (mg/l)	Erro	k <sub>d</sub> (dia <sup>-1</sup> )	Erro	r <sup>2</sup>	Ci <sub>F</sub> (mg/l)	Ci <sub>B</sub> (mg/l)	Cf <sub>F</sub> (mg/l)	Cf <sub>B</sub> (mg/l)	Δ	O/C
Exp. 1	17,7	0,53	19,92	0,389	0,116	0,0076	0,93	66,43	6,66	2,639	2,564	59,69	0,33
	20,3	0,33	46,71	0,391	0,094	0,0023	0,99	66,43	6,66	4,958	2,678	57,49	0,81
	22,4	0,46	63,78	0,460	0,095	0,0020	0,99	66,43	6,66	1,555	0,806	59,02	1,08
	27,0	0,47	82,46	1,073	0,094	0,0036	0,98	66,43	6,66	2,486	1,078	58,36	1,41
Exp. 2	18,2	0,46	71,50	6,57	0,012	0,0016	0,99	87,07	9,97	6,142	3,977	74,93	1,33
	21,4	0,43	68,09	4,89	0,021	0,0026	0,97	87,07	9,97	2,725	1,891	76,26	0,99
	24,8	0,26	69,76	2,10	0,040	0,0029	0,97	87,07	9,97	4,450	3,922	76,57	0,93
	26,8	0,50	56,78	1,23	0,068	0,0040	0,94	87,07	9,97	2,303	1,808	76,60	0,74
Exp. 3 (alta MM)	19,3	0,46	14,37	0,49	0,059	0,0041	0,98	41,97	4,813	10,80	4,505	30,85	0,46
	23,8	0,43	23,48	0,55	0,092	0,0055	0,97	41,97	4,813	18,96	7,210	25,40	0,92
	25,4	0,26	13,90	1,10	0,109	0,0240	0,60	41,97	4,813	15,39	4,535	26,30	0,52
	28,1	0,5	38,35	0,81	0,075	0,0037	0,98	41,97	4,813	15,37	5,475	29,25	1,31
Exp. 3 (baixa MM)	19,3	0,46	15,38	1,06	0,040	0,0048	0,97	65,25	4,813	5,105	4,505	59,83	0,28
	23,8	0,43	20,89	0,63	0,065	0,0042	0,98	65,25	4,813	14,31	7,210	53,33	0,39
	25,4	0,26	21,90	1,48	0,040	0,0047	0,96	65,25	4,813	8,155	4,535	56,81	0,38
	28,1	0,50	24,62	3,72	0,023	0,0050	0,95	65,25	4,813	3,475	4,685	59,64	0,41

Ci<sub>F</sub> = carbono inicial do frasco; Ci<sub>B</sub> = carbono inicial do frasco; Cf<sub>F</sub> = carbono final do frasco; Cf<sub>B</sub> = carbono inicial do branco; Δ = [(Ci<sub>F</sub>-Ci<sub>B</sub>) - (Cf<sub>F</sub> - Cf<sub>B</sub>)]

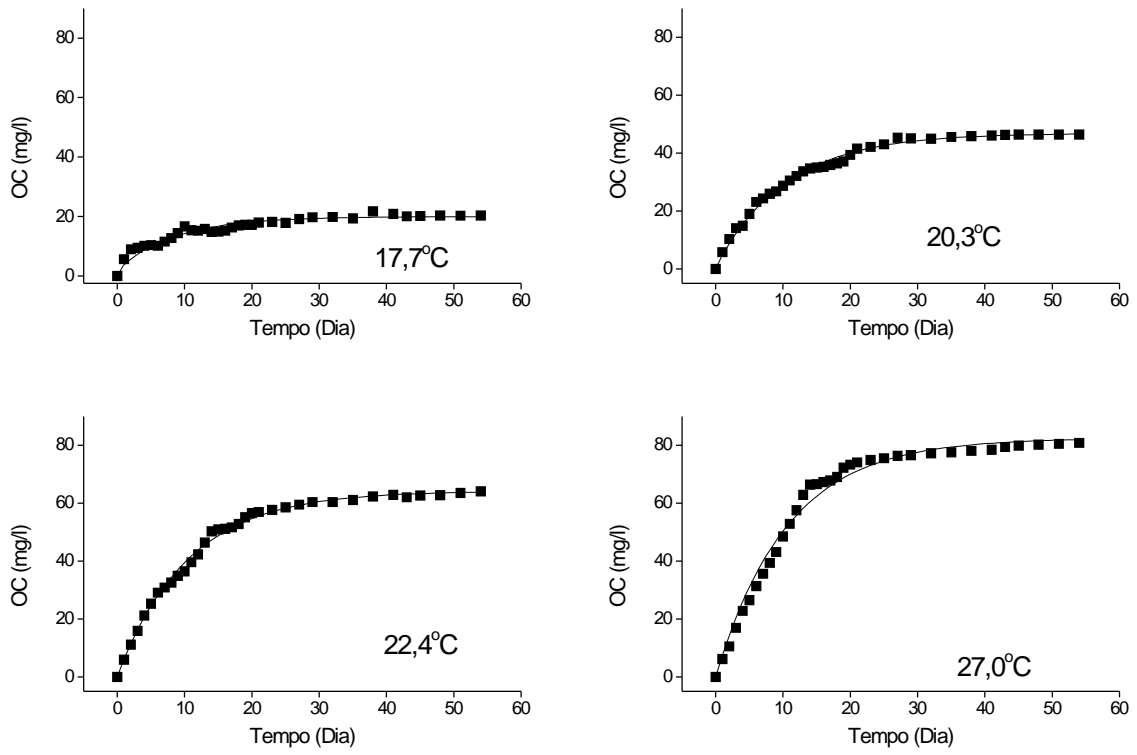


FIGURA 59 – Consumo acumulado de oxigênio durante a mineralização das células rompidas de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas.

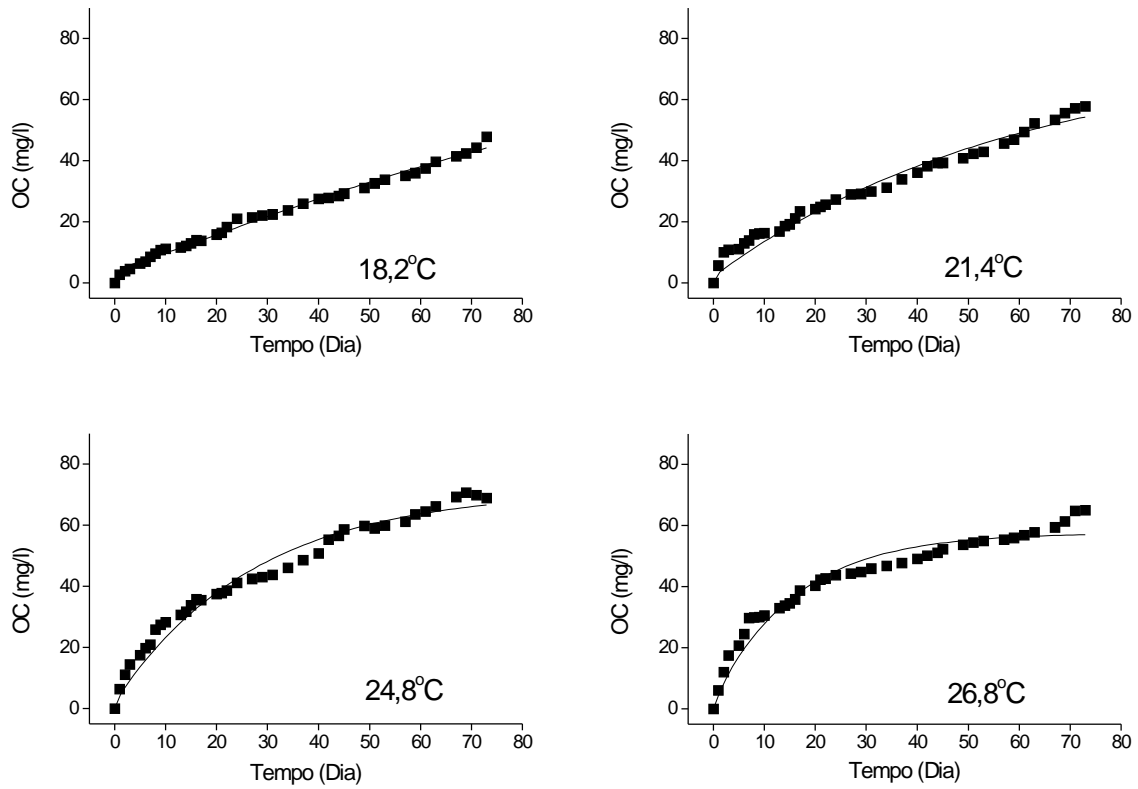


FIGURA 60 - Consumo acumulado de oxigênio durante a mineralização das células íntegras de *S. iverseii*, em diferentes temperaturas.

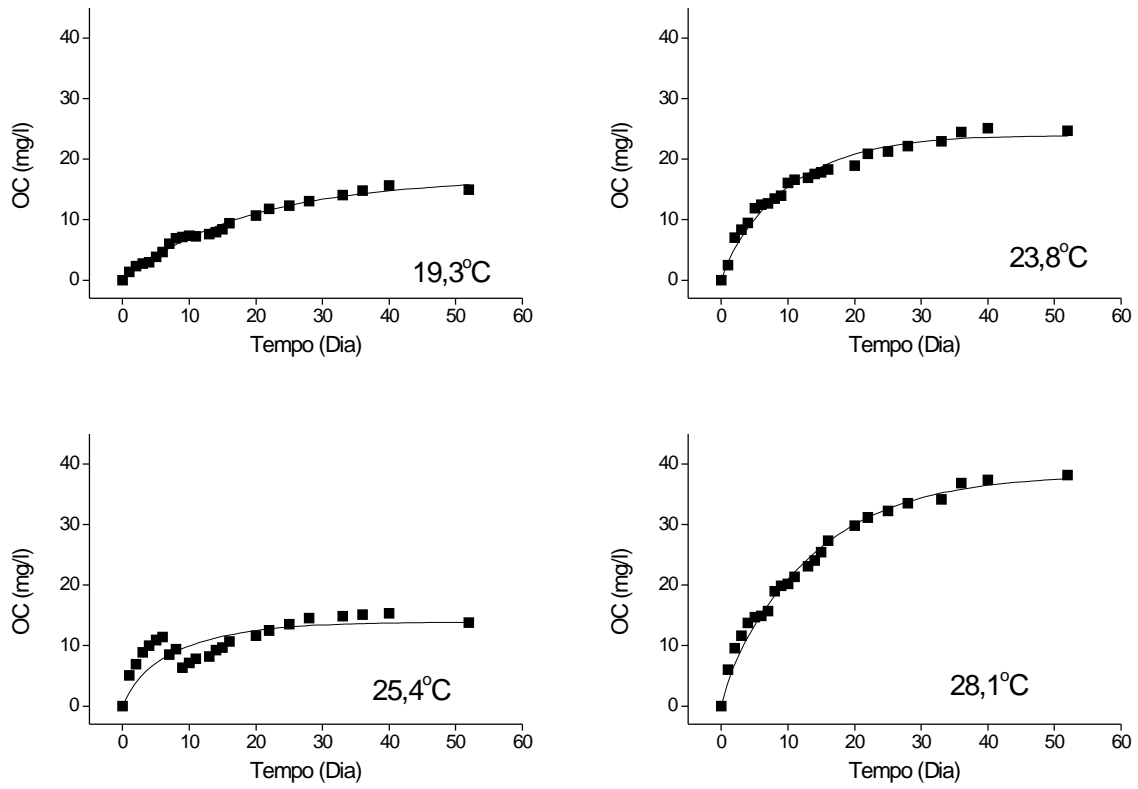


FIGURA 61 - Consumo acumulado de oxigênio durante as mineralizações de polissacarídeos com alta massa molecular excretados de *S. iverseii*, em diferentes temperaturas.

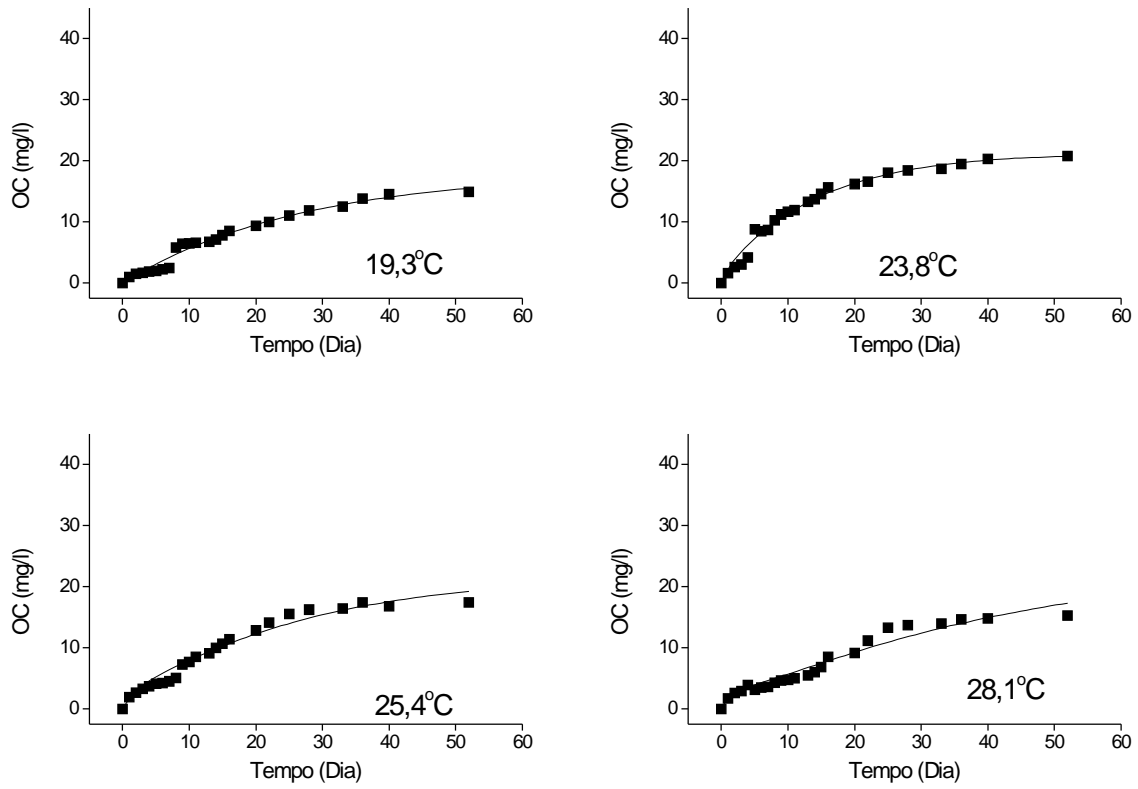


FIGURA 62 - Consumo acumulado de oxigênio durante as mineralizações de polissacarídeos com baixa massa molecular de *S. iversenii*, em diferentes temperaturas de incubação.

*et al.* (1999), apresentando uma tendência de consumo mais acentuado no início dos processos (em média, até o 10º dia). Após este período, em todos os frascos, verificase decréscimos graduais na utilização do OD, tendendo à estabilização, nas fases finais do experimento. Considerando que estes substratos são compostos heterogêneos, apresentando frações lábeis e refratárias, admite-se que no início tenham predominado as oxidações das frações lábeis que, normalmente, geram altas demandas de oxigênio. Por outro lado, as reduções nos consumos de oxigênio estiveram, provavelmente, relacionadas com as mineralizações das frações refratárias e, ainda, com as oxidações de compostos nitrogenados. Neste caso, a nitrificação seria um dos principais processos interferentes.

Assim como o verificado para o estudo de consumo de oxigênio a partir da mineralização de recursos de *S. iversenii*, o trabalho de decomposição desenvolvido por CUNHA-SANTINO *et al.* (em preparação) com cinco espécies de algas, descreveram os substratos algais como detritos heterogêneos. Neste estudo os autores determinaram valores de consumo de oxigênio (por grama PS de alga) que oscilaram entre 10,53 mgO<sub>2</sub>/gC (*Aulacoseira granulata*) a 35,71 mgO<sub>2</sub>/gC (*Cryptomonas* sp.) na degradação das frações lábeis e de 157,6 mgO<sub>2</sub>/gC (*Microcystis aeruginosa*) a 207,2 mgO<sub>2</sub>/gC (*Cryptomonas* sp.) na fase da degradação dos produtos refratários.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 14 observa-se que a maior quantidade de carbono foi oxidada durante a mineralização das células íntegras de *S. iversenii* na temperatura de 26,8°C (76,60 mg C) e a menor (25,40 mg C) quantidade foi registrada para os polissacarídeos com alta massa molecular, na temperatura de 23,8°C.

Através da Tabela 14 e das Figuras 63 e 64 apresentam-se as relações estequiométricas globais médias dos processos aeróbios de mineralização, indicando que de maneira geral, a relação O/C apresentou uma variação entre 0,28 (polissacarídeo com baixa massa molecular a 19,3°C) a 1,41 (algas rompidas a 7,0°C).



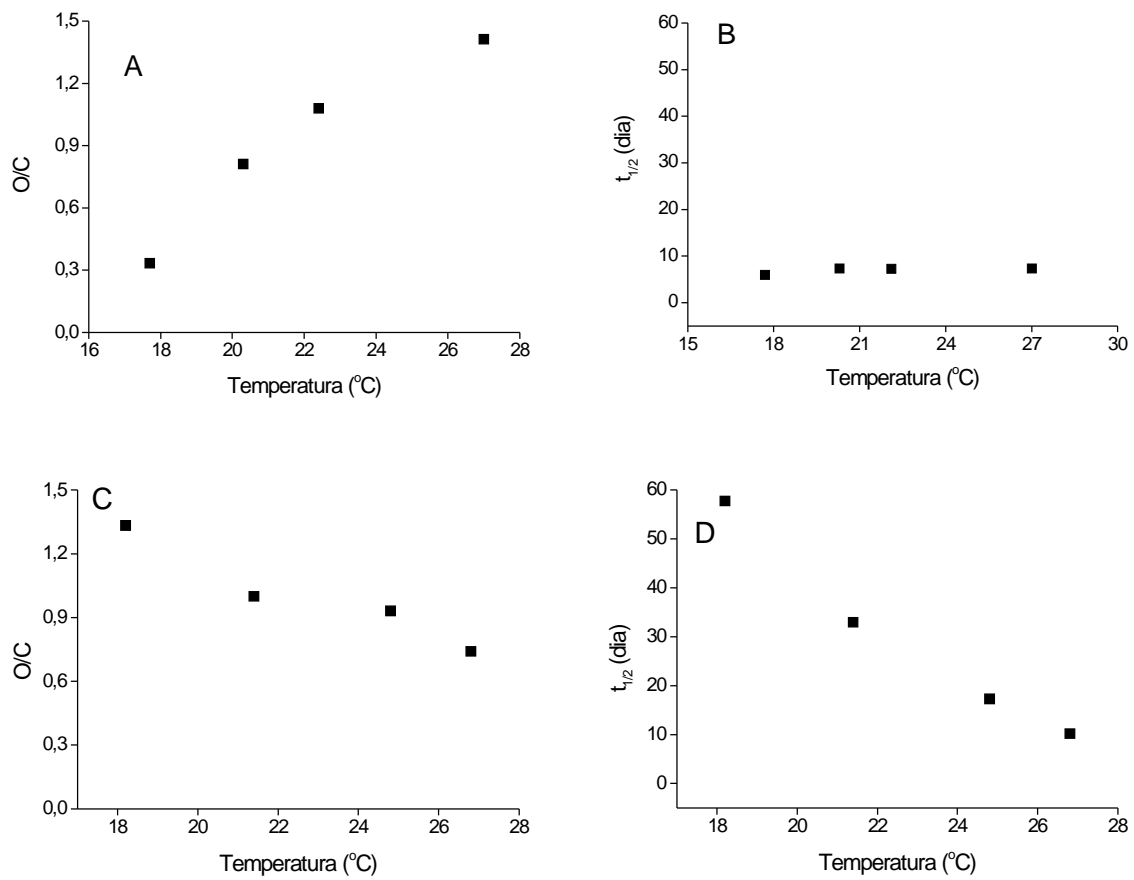


FIGURA 63 - Variações das estequiometrias (O/C) e dos tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para as mineralizações de células rompidas (A e B) e células íntegras (C e D) de *S. iverseonii*.

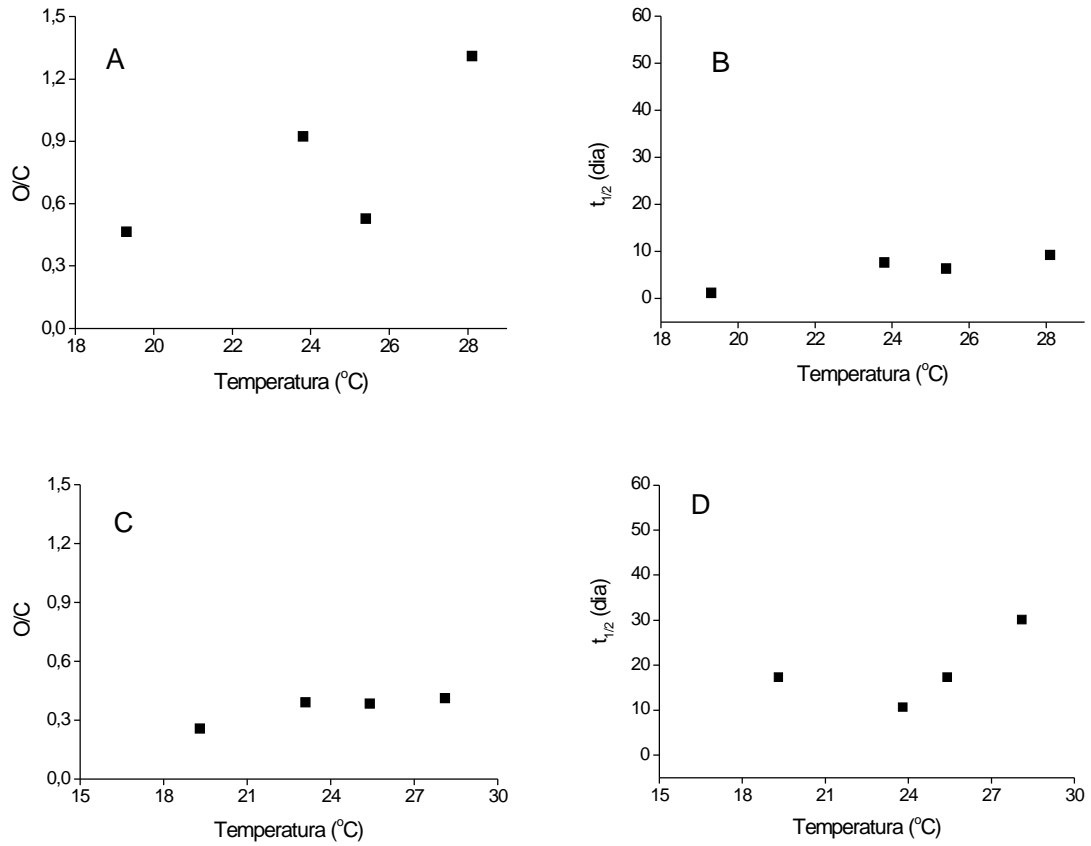


FIGURA 64 - Variações das estequiometrias (O/C) e dos tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para as mineralizações: polissacarídeos com alta (A e B) e baixa (C e D) massas moleculares.

Em experimentos similares, CUNHA-SANTINO *et al.* (em preparação) encontraram relações estequiométricas que variaram de 1,36 para *Microcystis aeruginosa* a 1,80 para *Thalassiosira* sp. Para *S. iversenii* e seus polissacarídeos excretados, provavelmente as diferenças entre as composições químicas dos recursos e as temperaturas devem ter influenciado estes valores. Neste contexto, os valores estequiométricos incrementaram-se com a temperatura no 1.º e no 3.º experimentos (mineralização de células rompidas e de polissacarídeos, respectivamente). Nas incubações realizadas com células íntegras, os valores das relações estequiométricas apresentaram-se com tendência contrária, ou seja, diminuíram com o aumento da temperatura.

Segundo CUNHA-SANTINO & BIANCHINI Jr. (no prelo) os coeficientes estequiométricos provavelmente estejam basicamente relacionados com as oxidações bioquímicas predominantes (rotas metabólicas) e com as densidades dos principais tipos de microrganismos envolvidos na atividade heterotrófica. Uma grande variedade de compostos orgânicos pode ser utilizada pelos microrganismos como fonte de energia. O catabolismo destas substâncias leva à produção de compostos intermediários (por ex. ácido pirúvico) que atuam como fornecedores de matéria-prima para as reações de biossíntese e de obtenção de energia. Os coeficientes estequiométricos estão, deste modo, relacionados com as rotas metabólicas de degradação pelas quais os compostos orgânicos são processados. Assim, o conjunto das rotas metabólicas predominantes da comunidade de microrganismos (fungos e bactérias) presentes condicionou os valores das relações estequiométricas. Dentre as vias metabólicas citam-se: via oxidativa das pentoses-fosfato, glicólise ou via de Embden-Meyerhof-Parnas e via de Entner-Doudoroff.

Através da Tabela 14 é possível verificar, ainda, que durante os experimentos de mineralização dos recursos, o consumo máximo de oxigênio ( $OC_{máx}$ ) variou entre 13,90 mg/l (polissacarídeo com alta massa molecular a 25,4°C) e 82,46 mg/l. Em relação ao consumo máximo de oxigênio, o valor mais elevado foi verificado na

mineralização de células rompidas a 27,0°C; este valor encontra-se na mesma ordem de grandeza que o estimado por LEMOS (1995) para a espécie *Nephrocitium lunatum* (83,0 mg/l).

A partir dos coeficientes de desoxigenação ( $k_d$ ), obtidos dos ajustes cinéticos, (Tabela 14) calculou-se os tempos de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) dos processos aeróbios de mineralização (Figuras 61 e 62). Os valores dos coeficientes de desoxigenação variaram de 0,012 a 0,116 dia<sup>-1</sup>. Com exceção do experimento com as células íntegras, para os demais, os valores mais elevados foram verificados nas incubações entre 27,0 e 28,1°C. Os  $t_{1/2}$  variaram entre 5,97 a 57,7 dias. O maior coeficiente de desoxigenação foi observado na mineralização das células rompidas de *S. iversenii* (a 17,7°C) e o menor, para a das células íntegras a 18,2°C. O efeito da degradação microbiana na regulação das concentrações de COD nos ecossistemas aquáticos relaciona-se com os coeficientes de desoxigenação. Supõe-se que as frações do COD que apresentaram altos coeficientes de desoxigenação (Tabela 14) possuíram curtos períodos de meia-vida. Devido aos altos coeficientes de desoxigenação, estas frações não tendem ao acúmulo no ecossistema. Em oposição, as frações com baixos coeficientes de desoxigenação (longo tempo de meia-vida) provavelmente, permaneçam inalteradas no reservatório por longos períodos e conseqüentemente, apresentem as concentrações mais elevadas.

Comparando os resultados apresentados através da Figura 59 (mineralizações das células rompidas) observa-se que os valores dos coeficientes de desoxigenação ( $k_d$ ) e os do consumo máximo de oxigênio ( $OC_{máx.}$ ) tenderam a ser inversos e o  $k_d$  mais elevado foi observado na incubação de 17,7 °C. No experimento com as células íntegras (Figura 60) a incubação na temperatura mais baixa (18,2 °C) foi a que consumiu mais oxigênio ( $OC_{máx} = 71,50$  mg/l); porém, apresentou o  $k_d$  mais baixo (0,012 dia<sup>-1</sup>). Nas incubações nas temperaturas de 21,4 e 24,8 °C os valores de  $k_d$  e do  $OC_{máx.}$  foram considerados intermediários, uma vez que sob a temperatura mais

elevada (26,8°C) a mineralização apresentou um coeficiente de desoxigenação de 0,068 dia<sup>-1</sup> e um potencial consumo de oxigênio de 56,78 mg/l.

Para o experimento de mineralização com os polissacarídeos com alta massa molecular, na temperatura de 25,4°C registrou-se o  $k_d$  com o valor mais elevado (0,109 dia<sup>-1</sup>) e o menor consumo de oxigênio (13,90 mg/l); para as demais temperaturas, os valores foram baixos tanto para o coeficiente de desoxigenação quanto para o de consumo máximo de oxigênio. Para o experimento com os polissacarídeos com baixa massa molecular os valores de  $k_d$  variaram entre 0,02 a 0,06 dia<sup>-1</sup> e de 15,38 a 24,61 mg/l para o consumo máximo de oxigênio.

LEMOS (1995) determinou valores de  $k_d = 0,212$  dia<sup>-1</sup> para a mineralização das células de *Nephrocitium lunatum* e de 0,253 dia<sup>-1</sup> para o do seu excretado. Os maiores coeficientes de desoxigenação encontrados por este autor, em relação aos obtidos neste trabalho, podem estar relacionados com diferentes procedimentos experimentais adotados, uma vez que os recursos de *S. iversenii* não foram submetidos à liofilização como os de *Nephrocitium lunatum*. Ao comparar os coeficientes de desoxigenação registrados nestes experimentos com os obtidos por ANTONIO *et al.* (1999) para folhas (0,11 dia<sup>-1</sup>), galhos (0,52 dia<sup>-1</sup>), casca (0,36 dia<sup>-1</sup>) e serapilheira (0,11 dia<sup>-1</sup>) nota-se que os coeficientes das mineralizações dos recursos de *S. iversenii* apresentaram valores menores. Considerando que os coeficientes de desoxigenação relacionaram-se também com as quantidades máximas de oxigênio envolvidas nas oxidações, estes resultados sugerem que os recursos em questão (das algas) foram mais susceptíveis aos processos de mineralização, oxidando maiores quantidades de carbono, enquanto que os consumos de oxigênio descritos no experimento desenvolvido por ANTONIO *et al.* (1999) envolveram somente pequenas frações dos recursos, as estruturas lábeis. Nesse contexto, as mineralizações dos recursos provenientes de *S. iversenii* envolveram de 68,4 (polissacarídeos de alta massa molecular, 23,8°C) a 99,8% (células rompidas, 17,7°C) do carbono orgânico dos substratos (Tabela 14).

A partir de estudos desenvolvidos por CUNHA-SANTINO & BIANCHINI Jr. (submetido), os valores dos  $k_d$  para substâncias húmicas variaram de  $0,14 \text{ dia}^{-1}$  até  $0,31 \text{ dia}^{-1}$ . Apesar destas substâncias serem consideradas recalcitrantes, os coeficientes também foram maiores do que para os recursos de *S. iversenii*. Neste caso somente foram oxidados, em média, 27% do carbono dos substratos.

Comparando os valores dos consumos máximos de oxigênio ( $OC_{\text{máx}}$ ) dos três experimentos observou-se que o maior consumo foi registrado nas incubações com células rompidas (a  $27,0^\circ\text{C}$ ) e os menores foram determinados para os polissacarídeos com baixa massa molecular. É possível que estes valores tenham sofrido influência da qualidade dos recursos, uma vez que, em média, os valores de consumo de oxigênio nas mineralizações das células íntegras são semelhantes aos das células rompidas e o mesmo aconteceu para os polissacarídeos com alta e baixa massa molecular (Figura 61 e 62). De modo geral, os resultados obtidos permitiram inferir que todos os recursos considerados foram mineralizados intensamente, servindo basicamente aos processos catabólicos (respiração) dos microrganismos, em detrimento da formação de húmus ou outras formas refratárias de matéria orgânica.

A partir dos valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) nota-se que estes variaram de 0,60 a 0,99 (Tabela 14), indicando que no geral, houve uma boa relação entre os resultados experimentais e os obtidos a partir do modelo cinético adotado.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos procedimentos experimentais adotados, os resultados obtidos permitiram chegar nas seguintes conclusões:

O procedimento de ruptura mecânica das células favoreceu a liberação e solubilização das frações lábeis de *S. iversenii*, favoreceu o contato das bactérias com as frações refratárias; desta maneira intensificaram-se as velocidades dos processos de mineralização.

Os valores de  $Q_{10}$  foram mais elevados nos processos de mineralização sob concentrações baixas de oxigênio dissolvido, sugerindo que no reservatório de Barra Bonita a comunidade dos microrganismos anaeróbios e/ou aeróbios facultativos seja mais sensível às variações de temperatura que a estritamente aeróbia.

Os incrementos da temperatura e das concentrações de oxigênio dissolvido favoreceram as velocidades das mineralizações das frações refratárias das células íntegras de *S. iversenii*. Para a degradação das frações dissolvidas de carbono orgânico, gerada a partir da lixiviação das células (rompidas e íntegras), não foram verificados os efeitos destes fatores.

O processo de decomposição das células (rompidas e íntegras) contribuíram para liberação de nutrientes, principalmente nas etapas iniciais. Na seqüência, os compostos tenderam a ser assimilados e/ou convertidos (p. ex. formação de nitrato).

Dependendo do tipo de recurso (p. ex. células ou polissacarídeos excretados), a disponibilidade de oxigênio e a temperatura influenciaram as velocidades de mineralização a induziram a ocorrência de alterações nas rotas pelas quais os processos de desenvolveram. No caso das células de *S. iversenii*, sob condições favoráveis de oxigenação, o incremento da temperatura tendeu a inibir a ocorrência dos processos oxidativos de curto prazo.

Os coeficientes de mineralização das frações refratárias ( $k_4$ ) dos polissacarídeos

(de alta e baixa massas moleculares) excretados por *S. iversenii* foram equivalentes. Entretanto, em termos médio, as mineralizações das frações refratárias dos polissacarídeos com massas moleculares altas foram mais rápidas.

Na degradação dos polissacarídeos, com alta massa molecular o aumento da temperatura tendeu a incrementar a quantidade de material mineralizado através de processos rápidos (1ª rota: respiração e oxidação química). O contrário ocorreu para os polissacarídeos com baixas massa molecular, para os quais o incremento da temperatura favoreceu a predominância dos processos lentos de mineralização.

Nos processos de mineralização das células rompidas e dos polissacarídeos o incremento da temperatura induziu o aumento dos valores das relações estequiométricas (O/C); o contrário ocorreu na mineralização de células íntegras de *S. iversenii*. Os valores dos coeficientes de desoxigenação tenderam ao incremento em função do aumento da temperatura, a exceção das mineralizações das células íntegras.

Os modelos matemáticos é adequado para as descrições dos processos de decomposição das células (rompidas e íntegras) e dos polissacarídeos (alta e baixa massas moleculares) foram sensíveis. Em geral, o confronto dos resultados experimentais com os teóricos geraram coeficientes de determinação ( $r^2$ ) elevados.

O processo de decomposição de *S. iversenii* contribui, com rapidez, para os incrementos dos estoques de carbono detrital (açúcar) e de nutrientes no reservatório de Barra Bonita. Dependendo do tamanho da população, esta espécie pode contribuir efetivamente para a manutenção das transferências tróficas.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARONSON, S. Excretion of organic matter by phytoplankton in vitro. **Limnol. Oceanogr.**, v. 23, n. 4, p 838, 1978.

ABATE, G., MASINI, J. C. Acid-Basic and complexation proprieties od a sedimentary humic acid. A study on the Barra Bonita reservoir of Tietê river São Paulo States, Brazil. **J. Brazil. Chem. Soc.** v. 12, n. 1, p. 109 – 116, 2000.

AGUSTÍ, S., SATTA, M. P., MURA, M. P., BENAVENT, E. Dissolved esterase activity as a trace of phytoplankton lysis: Evidence of high phytoplankton lysis rates in the northwestern Mediterranean. **Limnol. Oceanogr.**, v. 43, n. 8, p. 1836 -1849, 1998.

AMON, R. M. W., BENNER, R. Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. **Limnol. Oceanogr.**, v. 4, n. 1, p. 41 - 51, 1996.

ANTONIO, R. M. **Estimativa da capacidade heterotrófica de ecossistemas aquáticos.** São Carlos: UFSCar, 1992. 30p. (Monografia)

ANTONIO, R. M., BITAR, A. L. BIANCHINI Jr., I. Consumo de oxigênio na mineralização de folhas, galhos cascas e serapilheira. **Acta Limnol. Bras.**, v. 11, n. 2, p. 65 – 78. 1999.

ARANHA, F. J. **Influência dos fatores hidráulicos e hidrológicos na composição e biomassa do fitoplâncton em curto período de tempo na represa de Barra Bonita, médio Tietê, SP.** EESC – USP, São Carlos – SP, 1990, 150p.(Dissertação)

ARNOSTI, C., REPETA, D. J., BLOUGH, N. V. Rapid bacterial degradation of polysaccharides in anoxic marine systems. **Geoc. Cosmo. Acta**, v. 58, n. 12, p. 2639 – 2652, 1994.

AZAM, F., FENCHEL, T., FIELD, J. G., GRAY, J. S., MEYER-REIL, L. A., THINGSTAD, F. The ecology role of water-column microbes in the sea. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 10, p. 257 - 263, 1979.

BAINES, S. B., PACE, M. L. The production of dissolved organic matter by phytoplankton and its importance to bacteria: Patterns across marine and freshwater systems. **Limnol. Oceanogr.**, v. 36, n. 6, p.1078 - 1090,1991.

BENNER, R., OPSAHL, S., LEO, G. C., RICHEY, J. E. FORSBERG, B. R. Bacterial carbon metabolism in the Amazon river system. **Limnol. Oceanogr.**, v. 40, n. 7, p. 1262 - 1270, 1995.

BIANCHINI Jr., I., TOLEDO, A. P. P. Estudo da mineralização de *Nymphoides indica*. In: Seminário. Regional de Ecologia, 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 1998 v. 7, p. 1315 - 1329.

BIANCHINI Jr., I. Aspectos de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. In: POMPEO, M. L.M. (ed.) **Perspetivas da Limnologia no Brasil**. São Luis, p. 21 - 43. 1999a.

BIANCHINI Jr., I. A decomposição da vegetação e o consumo de oxigênio nos Reservatórios: Implicações Ecológicas. In: HENRY, R. (ed.) **Ecologia de Reservatórios**. Botucatu, Ed. FUNDABIO. p. 629 649, 1999b.

BIDDANDA, B. Microbial synthesis of macroparticulate matter. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v.20, p. 241 – 251, 1985.

BIDDANDA, B., BENNER, R. Carbon, nitrogen and carbohydrates fluxes during the production of particulate and dissolved organic matter by marine phytoplankton. **Limnol. Oceanogr.**, v. 42, n. 6, p 506 - 518, 1997.

BIERSMITH, A., BENNER, R. Carbohydrates in phytoplankton and freshly produced dissolved organic matter. **Mar. Chem.**, v. 63, p. 131 – 144, 1998.

BITAR, A. L. **Contribuição para o estudo dos processos de mineralização em sistemas aquáticos**. São Carlos: UFSCar, 1995. 47p. (Monografia)

BJØRNSSEN, P. K. Phytoplankton exudation of organic matter: Why do healthy cells do it? **Limnol. Oceanogr.**, v. 33, n. 1, p 151 - 154, 1988.

BROOK, A. J. The biology of desmids. In: **Botanical Monographs.**, Blackwell Scientific Publication, Oxford., 1981. 276p.

BUNTE, C., SIMON, M. Bacterioplankton turnover of dissolved free monosaccharides in a mesotrophic lake. **Limnol. Oceanogr.**, v. 44, n. 8, p. 1862 - 1870, 1999.

CALIJURI, M. C **Respostas fisiológicas das comunidades fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.** São Carlos: EESC –USP, 1988. 293p. (Tese de Doutorado)

CALIJURI, M. C, TUNDISI, J. G. Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. **Ver. Bras. Biol.**, v. 50, n. 4, p. 893 – 913, 1990.

CALIJURI, M. C., DOS SANTOS, A. C. A. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP - Brazil) **Hydrobiologia**, v. 445, p.11 - 26, 2001.

CÁCERES, O., VIEIRA, A. A. H. Produção de carboidratos intra e extracelular durante o crescimento de quatro espécies de algas de água doce. In: Seminário Regional Ecologia, 1996, São Carlos. **Anais...**São Carlos: UFSCar, 1998. v. VI, p. 183 – 195.

CETESB. **Guia para a avaliação de laboratório bacteriológico de análises de água.** São Paulo.

CHAN, K. Aerobic decomposition of *Chlorella salina* in freshwater and saline conditions. **Hydrobiologia**, v. 122, p. 35 - 44, 1985.

CHAPLIN, M. F., KENNEDEY, J. F. **Carbohydrate analysis, A practical Approach.** Oxford University Press, Oxford. 324p. 1994.

CHARACKLIS, W. G. Kinetics of microbial transformations. In: CHARACKLIS, W. G., MARSHALL, K. C. (eds.) **Biofilms.** New York: John Wiley& Sons, 1990. 233 – 264p.

CHEN, W., WANGERSKY, P. J. Rates of microbial degradation of dissolved organic carbon from phytoplankton cultures **J. Plankton Res.**, v. 18, n. 9, p. 1521 – 1533, 1996.

CHO, J. C., KIM, M. W., LEE, D. H., KIM, S. J. Response of bacterial communities to changes in composition of extracellular organic carbon from phytoplankton in Daechung Reservoir (Korea) **Arch. Hydrobiol.**, v. 138, n. 4, p. 559 – 576, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher 1999 236p.

CHRÓST, R. J., FAUST, M. A. Organic carbon released by phytoplankton: its composition and utilization by bacterioplankton. **J. Plankton Res.**, v. 5, p. 325 – 332, 1980.

CHRÓST, R. J., SUIDA, W. Some factors affecting the heterotrophic activity of bacteria in lake. **Acta Microb. Pol.**, v. 27, n. 2, p. 129 – 138, 1978.

CHRZANOWSKI, T. H., GROVER, J. P. Effects of mineral nutrients on the growth of bacterio-and phytoplankton in two southern reservoirs. **Limnol. Oceanogr.**, v. 46, n. 6, p. 1319 - 1330, 2001.

COGNIE, B., BARRILLE, L. Does bivalves mucus favour the growth of their main food source, microalga? **Oceanol. Acta**, v. 22, n. 4, p. 441 – 450, 1999.

COLE, J. J., LINKENS, G. E. STRAYER, D. L. Photosynthetically produced dissolved organic carbon: An important carbon source for planktonic bacteria. **Limnol. Oceanogr.**, v. 27, n. 6, p. 1080 - 1090, 1982.

COLOMBO, V. **Degradação do polissacarídeo extracelular excretado por *Anabena spiroides* (CYANOPHYCEAE) e glicosidades envolvidas no processo**. São Carlos: UFSCar, 2001. 102 p. (Dissertação)

COWIE, G. L., HEDGES, J. I. CALVERT, S. E. Sources and relative reactivities of amino acids, neutral sugars, and lignin in an intermittently anoxic marine environment. **Geoc. Cosmo. Acta**, v. 56, p. 1963 –1978, 1992.

CUNHA, M. B. **Ensaio de humificação e mineralização de *Scirpus cubensis* e *Cabomba piauhyensis***. São Carlos: UFSCar. 1996. 66p. (Monografia)

CUNHA, M. B., BIANCHINI JR. I. Cinética de mineralização aeróbia de celulose e lignina durante a degradação de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis* **Acta Limnol. Brasil.** v. 12, n. 2, p. 59 – 69. 1998.

CUNHA, M. B. **Mineralização de compostos húmicos da lagoa do Infernã ( Luiz Antônio, SP)** São Carlos: UFSCar, 1999. 142 p. (Dissertação )

CUNHA, M. B., BIANCHINI JR. I. Degradação anaeróbia de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis* : cinética de formação de gases **Acta Limnol. Brasil.**, v. 11, n. 1, p. 15 – 26. 1999.

CUNHA-SANTINO, 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, p. 35 - 43, 2001.

CUNHA-SANTINO, M. B., BIANCHINI Jr., I. Aerobic and anaerobic degradation of tannic acid water samples from Monjolinho reservoir (São Carlos, SP – Brazil) **Rev. Brasil. Biol.**, v. 64, n. 2, 2002.

CUNHA-SANTINO, M. B., BIANCHINI Jr., I (submetido) Oxygen uptake during mineralization of humic substance from Infernã lagoon (São Paulo, Brazil)

CUNHA-SANTINO, M. B., GOUVÊA, S.P., BIANCHINI Jr., I., VIEIRA, A. A. H. (em preparação) Oxygen uptake during mineralization of photosynthesized carbon from phytoplankton from Barra Bonita reservoir.

CUNHA-SANTINO, M. B., BIANCHINI Jr., I. Humic substance mineralization from a tropical oxbow lake (São Paulo, Brazil) **Hydrobiologia**, 468 (1-3): 33 – 43, 2002.

CUNHA-SANTINO, M. B., BIANCHINI Jr., I. (no prelo) Estequiometria da decomposição aeróbia de galhos, cascas, serapilheira e folhas.

D'SOUZA, F., BHOSLE, N. B. Variation in the composition of carbohydrates in the Dona Paula Bay (west of India) during May/June 1998. **Oceanol. Acta**, v. 24, n. 3, p. 221 – 237, 2001.

DARWICH, A. J. **Processos de decomposição de *Echochloa polystacha* (H.B.K.) Hitchcock (Gramineae=Poaceae), capim semi-aquático da várzea Amazônica.** Manaus: INPA, 1995. 327p. (Tese de Doutorado)

DE FILIPPO, R. **Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na Represa de Barra Bonita, São Paulo.** São Carlos: UFSCar 1987. 90p. (Dissertação)

DOBLIN, M. A. BLACKBURN, S. I. HALLEGRAEFF, G.M. Comparative study of selenium requirements of three phytoplankton species *Gymnodinium catenatum*, *Alexandrium minutum* (Dinophyta) and *Chaetoceros* c. f. *tenuissimus* (Bacillariophyceae) . **J. Plankton Res.**, v. 21, n. 6, p. 1153 – 1169, 1999.

DULCINI, S. E. M **Produção de exopolissacarídeos em diferentes fases do crescimento de *Staurastrum tohopekaligiensis* Wolle (Chlorophyceae)** São Carlos: UFSCar, 1996. 63p. (Dissertação)

ERTEL, J. R., HEDGES, J. I., PERDUE, E. M. Lignin signature of aquatic humic substances. **Science**, v. 223, p. 485 - 487, 1984.

ESPINDOLA, E. L. G. **Dinâmica da associação congênica de espécies de *Notodiaptomus* (Copepoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita, SP.** EESC – USP, 1994, 363p. (Tese de Doutorado)

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro, Interciência/FINEP, 1988. 575p.

FARJALLA, V. F., MARINHO, C.C., ESTEVES, F. A. Uptake of oxygen in the initial stages of decomposition of aquatic macrophytes and coastal lagoon. **Acta Limnol. Brasil.**, v. 11, n. 2, p. 185 – 193, 1999.

FERENSI, E. G. **Produção de carbono orgânico via fitoplâncton e bacterioplâncton em duas lagoas de planície do Rio MogiGuaçu (Estação Ecológica de Jataí, SP)** São Carlos: UFSCar, 1994. 111p. (Tese de Doutorado)

FOGG, G. E. Ecological significance of extracellular products of phytoplankton photosynthesis. **Bot. Mar.**, v. 26, p. 3 - 14. 1983.

FONSECA, C. P. **Estudo de flutuação de curta duração na comunidade zooplanctônica, Barra Bonita, Médio Tietê, SP.** EESC – USP 1990. 176p. (Dissertação)

FOREE E. G., McCARTY, P. L. Anaerobic decomposition of algae. **Environ. Sci. And Technol.**, v. 4, p. 842 - 849, 1970.

FREIRE-NORDI, C. S. **Compostos polissacarídeos de alto peso molecular excretados por *Ankistrodesmus densus* (Kors) (Chlorophyceae): sua utilização como substrato para bactérias.** São Carlos: UFSCar, 1993. 89p. (Tese de Doutorado)

FREIRE-NORDI, C. S. & VIEIRA, A. A. H. Utilization of extracellular polyssacharides from *Ankistrodesmus densus* kors (Chlorophyceae) by heterotrophic bacteria. **Rev. Microbiol.**, v. 27, n. 1, p. 27 - 32, 1996.

GAVILAN-DIAZ, R. A. Ciclos nictemerai de fatores ecológicos, biomassa e diversidade de plâncton na Represa de Barra Bonita – Estado de São Paulo. São Carlos: UFSCar 1996. 150p. (Dissertação)

GENTIL, J. G. **Estudo limnológico comparado de cinco reservatórios do Estado de São Paulo localizados em diferentes sistemas hidrográficos.** São Carlos: UFSCar, 1984. 269p. (Dissertação)

GIROLDO, D. **O efeito da irradiância e disponibilidade de nitrato na excreção da carboidratos por *Cryptomonas obovata* (CRYPTOPHYCEAE)** São Carlos: UFSCar, 1998. 82p. (Dissertação)

GOLTERMAN, H. L. **Physiological Limnology.** Amesterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975. 480p.

GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. , OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater.** 2<sup>a</sup> ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1978. 213p.

GOTO, N., MITAMURA, O., TERAJ, H. Biodegradation of photosynthetically produced extracellular organic carbon from intertidal benthic algae **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, v. 257, 73 – 86, 2001.

GOUVÊA, S. P **Carboidratos extracelulares de *Staurodesmus convergens* (DESMIDIACEAE)** São Carlos: UFSCar, 1998. 59 p. (Dissertação)

GREMM, T. J., KAPLAN, L. A. Dissolved carbohydrates in stream water determined by HPLC and pulse amperometric detection. **Limnol. Oceanogr.**, v. 42, p. 385 - 393, 1997.

GUILLARD, R. L., LORENNZEN, C. J. Yellow algae with chlorophyllid-c. **J. Phycol.**, v. 8, p. 10 - 14, 1972.

GUNNISON, D, ALEXANDER, M. Resistance and susceptibility of algae to decomposition by natural microbial communities. **Limnol. Oceanogr.**, v. 20, n.1, p. 64 - 70, 1975.

HANISH, K., SCHWEITZER, B., SIMON, M. Use of dissolved carbohydrates by planktonic bacteria in a mesotrophic lake. **Microb. Ecol.** v. 31, p. 41 – 55, 1996.

HAUTALA, K., PEURAVUORI, J., PIHLAJA, K. Estimation of origin of lignin in humic DOM by CuO-oxidation. **Chemosphere**, v. 5, n. 4, p. 809 - 817, 1997.

HEDGE, J. I., COWIE, G. L., RICHEY, J. E., QUAY , P. D., BENNER, R., STROM, M. & FORSBERG, B. R. Origin and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids. **Limnol. Oceanogr.**, v. 39, n. 4, p. 743 - 761, 1994.

HELLEBUST, J. A. Excretion of some organic compounds by marine phytoplankton. **Limnol. Oceanogr.**, v.10, p. 192 – 206, 1965.

HELLEBUST, J. A. Extracellular products. In: STEWART, W. D. P. (ed.) **Algal physiology and biochemistry**. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1974. P. 838 – 863.



HENRY, R. O crescimento potencial do fitoplâncton da represa de Barra Bonita (rio Tietê, SP): uma comparação sazonal dos efeitos de enriquecimento artificial em amostras de seus tributários. **Ciê. Cult.** v. 38 n. 9 p. 1553 - 1564, 1986.

HENRY, R., HINO, K., GENTIL, J. G., TUNDISI, J. G. Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita reservoir (State of São Paulo, Brazil) **Int. Revue ges. Hydrobiol.**, v. 4, p. 561 - 573, 1985.

HENRY, R., SIMÃO, C. A. Aspectos sazonais da limitação potencial por N, P, e Fe no fitoplâncton da represa de Barra Bonita (Rio Tietê, SP) **Rev. Brasil. Biol.**, v. 48, n. 1, p. 1 - 14, 1988.

HULTH, S., TENGBERG, A., LANDÉN, A., HALL, P. O. J. Mineralization and burial of organic carbon in sediments of the southern Weddell Sea (Antarctica) **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers** v: 44, n. 6, pp. 955-981, 1997.

IGNATIADES, L., FOGG, G.E. Studies of the factors affecting the release of organic matter by *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve in culture. **J. Mar. Biol. Ass. U. K.**, v. 53, p. 937 - 956, 1973.

ITURRIAGA, R., ZSOLNAY, A. Heterotrophic uptake and transformation of phytoplankton extracellular products. **Bot. Mar.**, V. 26, p. 375 - 381, 1983.

JATI, S. **Estrutura e dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica no Reservatório de Barra Bonita (SP): Uma Análise em diferentes escala de tempo.** São Carlos: UFSCar 1998, 175 p. (Dissertação)

JENSEN, L. M. Phytoplankton release of extracellular organic carbon, molecular weight composition, and bacterial assimilation. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 11, p. 39 – 48, 1983.

JEWELL, W. J., McCARTY, P. L. Aerobic Decomposition of algae. **Environ. Scie. And Technol.**, v. 5, p. 1023 - 1031, 1971.

JORGE, J. A Matéria Orgânica. In: **Elementos de pedologia.** Moniz, A. C. (ed.) Edusp – SP. v.8, p. 169 - 271, 1972.

JØRGENSEN, N. O. G. & JENSEN, E. R. Microbial fluxes of free monosaccharides in freshwater determined by PAD-HPLC. **Microb. Ecol.**, v. 14, p. 79 - 93, 1994.

JUGNIA, L.-B., TADONLÉKÉ, R. D., SIME-NGANDO, T. DEVAUX, J. The microbial food web in the recently flooded deep reservoir: Diel fluctuations in bacterial biomass and metabolic activity in relation to phytoplankton and flagellates grazer. **Microb. Ecol.**, v. 40, p. 317 - 329, 2000.

KLEEREKOPER, H. The mineralization of plankton. **J. Fish. Res. Bd. Can.**, v. 10, n. 5, p. 283 – 291, 1953.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: WHITTON, B. A. (ed) **River ecology**. Blackwell. Oxford, 725p.

KREBS, C. J. **Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance**. New York, Harper and Row Publishers Inc., 1972. 678p.

LEHNIGER, A. L. **Princípios de Bioquímica**. São Paulo. Publ. Savier. 1993. 725p.

LE MOS, R. M. A. **Ensaio de decomposição de *Nephrocytium lunatum* W. West (Chlorophyceae) e de *Scirpus cubensis* poepp & Kunth (Cyperaceae) da Lagoa do Infernãõ**. São Carlos: UFSCar, 1995. 169p. (Dissertação)

LOPEZ-LLORCA, L. V. , HERNANDEZ, P. Infection of the green algae *Oocystis lacustris* Chord with the Chytrid fungus *Diplochytridium deltanum* (Master) Karling. **An. SEM Study. Micron**, v. 27, n. 5, p. 355-358, 1996.

LYNCH, J. M., HOBBIE, J. E. **Micro-organism in Action : Concepts and Application** in Microbial Ecology. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1979. 363p.

MACKERETH, F. J. H., HERON, J., TALLING, J. F. Water analysis: some revised methods for limnologists. **Freshwater Biological Association, Sci. Po.**, v. 36, 121p., 1978.

MACKIE, W. & PRESTON, R. D. Cell wall and intercellular region polysaccharides. In STEWART, W. D. P. **Algal physiology and biochemistry** Botanical Monographs. V.10, p. 40 - 85, 1974.

MANN, K. H. Production and use of detritus in various freshwater, estuarine, and coastal marine ecosystems. **Limnol Oceanogr.**, v. 33, n. 4, p. 910 - 930, 1988.

MATUSUMARA – TUNDISI, T., LEITÃO, S. N., AGUENA, L. S., MIYAHARA, J. Eutrofização da Represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de rotífera. **Ver. Brasil. de Biol.** v. 50, n. 4, p. 923 – 935, 1990.

MAURIN, N., AMBLARD, C., BOURDIER, G. Phytoplanktonic excretion and bacterial reassimilation in an oligomesotrophic lake: molecular weight fractionation. **J. Plankton Res.** v. 19, n. 8, p. 1045 – 1068, 1997.

MEYER, J, L, Production and utilization of dissolved organic carbon riverine ecosystem In: Perdue E, M., Gjessing, E. T (Eds.) **Organic acids in aquatic ecosystem** John Wiley & Sons, Dahlem, p. 281 - 299, 1990.

MEYER, J. A. **Avaliação da biomassa de *Paspalum repens* Bergius submetida à flutuação do nível de água da represa de Barra Bonita (zona de desembocadura do rio Capivara - SP)** EESC – USP, São Carlos – SP, 123p. 1996. (Dissertação)

MILLS, A. L., ALEXANDER, M. Microbial decomposition of species of freshwater planktonic algae. **J. Environ. Qual.**, v. 3, n. 4, p. 423 - 428, 1974.

MINOR, E. C., EGLINTON, T. I. Molecular-level variations in particulate organic matter subclasses along the Mid-Atlantic Bight. **Mar. Chem.**, v. 67, 103 – 122, 1999.

MORAN, M. A., HODSON, R.E. Dissolved humic substance of vascular plant origin in a coastal marine environment **Limnol. Oceanogr.**, v. 39, n. 4, p. 762 – 771, 1994.

MORAN, M. A., ZEPP, R. G. Role of photoreaction in the formation of biologically labile compounds from dissolved organic matter. **Limnol. Oceanogr.**, v. 42, n. 6, p. 1307 – 1316, 1997.

MORENO-GARRIDO, I., CANAVATE, J. P. Assessing chemical compounds for controlling predator ciliates in outdoor mass cultures of the green algae *Dunaliella salina*. **Aqua. Engin.**, v. 24, n. 2, p. 107 - 114, 2001.

MÜNSTER, U. & CHRÓST, R. J. Origin, composition, and microbial utilization of dissolved organic matter. In: **Aquatic microbial ecology-biogeochemical and molecular approaches**. Eds. Overbeck, J. & Chróst, R. J., Springer –Verlag, New York, 1990. 190p.

MYKLESTAD, S. M. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. **Sci. Tot. Environ.**, v. 165 p. 155 – 164, 1995.

NORRMAN, B., ZWEIFEL, U. L., HOPIKINSON Jr., C. S., FRY, B. Production and utilization of dissolved organic during an experimental diatom bloom. **Limnol. Oceanogr.**, v. 40, n. 5, p. 898 - 907, 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Interamericana, Rio de Janeiro. 1985, 434p.

OGURA, N., GOTOH, T. Decomposition of dissolved carbohydrates derived from diatoms of lake Yuno-ko. **Int. Revue Ges Hydrobiol.**, v. 59, p. 39 - 47, 1974.

OGURA, N. Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal seawater. **Mar. Biol.**, v. 31, p. 101 - 111, 1975.

OTSUKI, A., HANYA, T. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. I. Aerobic microbial decomposition. **Limnol. Oceanogr.**, v. 17, n. 2, p. 248 - 257, 1972a.

OTSUKI, A., HANYA, T. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. II. Anaerobic microbial decomposition. **Limnol. Oceanogr.**, v. 17, n. 2, p. 258 - 264, 1972b.

PACOBAYBA, L. D. , BIANCHINI, JR. I., VIEIRA, A. A.H. Cinética da mineralização de *Staurastrum cf. iversenii* Nygaard var. *americanum* (submetido)

PALMA, M. L. M. **Utilização heterotrófica de matéria orgânica de alto peso molecular dissolvida excretada por *Nephrocytium lunatum* (W) West**. São Carlos: UFSCar, 1996. 67p. (Dissertação)

PAULSEN, B. S., VIEIRA, A. A. H. Structure of the capsular and extracellular polysaccharides produced by the desmid *Spondylosium panduriforme* (Chlorophyta) **J. Phycol.**, v. 30, p. 638 - 641, 1994.

PAERL, H. W., PINCKENEY, J. L. A mini-review of microbial consortia: Their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. **Microb. Ecol.** v. 31, p. 225 – 247, 1996.

PEDRÓS-ALIÓS, C., GUERRERO, R. Microbial Ecology in Lake Cisó. In: **Advances in Microbial Ecology**. Ed. J. Gwynfryn Jones (ed.) Plenum Press, New York, v. 13, p. 155 - 209, 1993.

PETRACCO, P. **Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de *Polygonum spectabilis* Mart. e *Paspalum repens* Berg. da Represa de Barra Bonita (S.P.)** São Carlos: EESC – USP, 1995. 108p. (Dissertação)

PÍCCOLO, T. L. **Degradação e utilização de polissacarídeos extracelulares de *Anabena spiroides* por população naturais de bactéria.** São Carlos: UFSCar 1999, 42 p. (Monografia)

PIECZYNSKA, E. Sources and fate of detritus in the shore zone of lake. **Aquat. Bot.**, v. 25, p. 153 - 166, 1986.

PINTO-SILVA, V. **Variação diurna dos principais parâmetros limnológicos nos lagos Recreio e Buritizal – Pantanal Mato-Grossense, Barão de Melão MT.** São Carlos: UFSCar 1991, 307p. (Tese de Doutorado)

POMEROY, L. R & WIEBE W. J. Energetic of microbial food webs. **Hydrobiologia**, v. 156, p. 7 – 18, 1988.

POMEROY, L. R. The ocean's food web, a changing paradigm. **Bioscience**, v. 24, p. 499 - 504, 1974.

POMEROY, L. R., DIEBEL, D. Temperature regulation of bacterial activity during the spring bloom in Newfoundland Coastal water. **Science**, v. 233, p. 359 – 361, 1986.

PRESS, W. H., TEUKOLSKY, S. A., VETTERLING, W. T., FLANNERY, B. P. Numerical recipes in C: **The art of scientific computing**. N. Y. Cambridge University Press. 1993. 994p.

PURIVETH, P. Decomposition of emergent macrophytes in a Wisconsin marsh. **Hydrobiologia**, v. 72, p. 231 – 242, 1980.

REID, J. S. G. Carbohydrates metabolism: structural carbohydrates. In: DEL, P. M., HARBONE, J. B. Eds. **Plant Biochemistry**. New York, 554 p. 1997.

RIETZLER, A. C. Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies Cyclopoida na represa de Barra Bonita, SP. EESC – USP, 1991. 385p. (Tese de Doutorado)

ROYER, T. V., MINSHALL, G. E. Rapid breakdown of allochthonous and autochthonous plant material in a eutrophic river. **Hydrobiologia**, v. 344, p. 81 - 86, 1997.

SAIA, F.T., BIANCHINI Jr., I. Modelo do crescimento e senescência de *Salvinia auriculata* em condições de laboratório. In: Seminário Regional de Ecologia 1996, São Carlos. **Anais....** São Carlos: UFSCar 1998 v. VII, p. 1331 – 1342.

SCHOENBERG, S. A.; BENNER, R.; SOBECKY, P.; HODSON, R. E. Adaptation of phytoplankton-degrading microbial communities to thermal reactor effluent in a new cooling reservoir. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 54, n. 6, p. 1481 - 1988.

SCOTT, A. M., GRÖNBLAD, R. New and interesting desmids from the southeastern United States. **Acta Societ. Scien. Fennicae**, serie v. 2, n. 8, p. 39, 1957.

SHARP, J. H. Excretion of organic matter by marine phytoplankton: Do healthy cells do it? **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, n. 3, p. 381 - 399, 1977.

SHERR, E. B., SHERR, B. F. Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. **Limnol. Oceanogr.**, v. 33, p. 1225 - 1227, 1988.

SILVA, A. C. **Produção primária e excreção de matéria orgânica dissolvida de populações fitoplanctônicas da Lagoa do Infernã, Estação Ecológica de Jataí (S.P.) – Variação anual e diurna.** São Carlos: UFSCar, 1990. 167p. (Dissertação)

SOLIDORO, C. DEJAK, C., FRANCO, D. PASTRES, R. PECENIK, G. A model for macroalgae and phytoplankton growth in the Venice lagoon. **Environ. Internat.**, v. 21, n. 5, p. 619 - 625, 1995.

STEVERSON, F. J. **Humus Chemistry.** New York: Willey, 1982. 443p.

STORCH, T. A., SAUNDERS, G. W. Estimating daily rates of extracellular release and its relation to the seasonal cycle of dissolved organic carbon in a eutrophic lake. **Limnol. Oceanogr.**, v. 23, p. 112 - 119, 1978.

STRASKRABA, M. Limnological basis fo modeling reservoir ecosystems. In: ACKERMANN, W.C., WHITE, G.F., WORTHINGTON, E. B. (eds.) **Geophysical Monograph Series.** Washington: American Geophysical Union, 1973. v. 17, 517 - 535p.

STRICKLAND, J. D. H., PARSON, J. R. **A manual of sea water analysis** (Bulletin n. 125), Fisheries Research Board of Canada, The Minister of Fisheries, Ottawa 1960.

SWEELEY, C. C., BENTLEY, R., MAKITA, M., WELLS, W. W. Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives of sugar and related substances. **J. Am. Chem. Soc.** v. 85, p. 2497 – 2507, 1963.

SWIFT, M. J., HEAL, D. W., ANDERSON, J. M. **Studies in Ecology. Decomposition in Territorial Ecosystems.** Oxford: Blackwell, 1979. 371p.

TERZIÉ, S., AHEL, M., CAUWET, G., MALEJ, A. Group-specific phytoplankton biomass/dissolved carbohydrates relationships in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic) **Hydrobiologia**, v. 363, p. 191 - 205, 1998.

THOMAS, J. D., EATON, P. Accumulation of free aminoacids and humic substances in a freshwater modular system and their ecological significance. **Freshwater Biol.**, v. 35, p. 323 – 338, 1996.

TRANVIK, L. J. Allochthonous dissolved organic matter as an energy source for pelagic bacteria and the concept of microbial loop. **Hydrobiologia**, v. 229, p. 107 -114, 1992.

TUNDISI, J. G Typology of reservoir in southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 21, p. 1031 – 1039, 1981.

TUNDISI, J. G Limnologia de represas artificiais . **Boletim de Hidráulica e Saneamento**, v. 1, 1986.

TUNDISI, J. G., MATSUMARA – TUNDISI, T. Eutrophication processes and trophic states for 23 reservoir in São Paulo states, southern Brazil. **Proceedings of the V Brasil- Japan Symposium on Science and Tecnology**, 1986, 19p.

TUNDISI, J. G Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represa: fatores limitantes e controladores. **Rev. Bras. Biol.**, v.50, p. 937 – 955, 1990.

VALÊNCIO, N. F. L. S., GONÇALVES, J. C., VIDAL, K. C., MARTINS, R. C., RIGOLIN, M. V., LOURENÇO, L.C., MENDONÇA, S. A. T., LEME, A. A. O papel das hidroelétrica no processo de interiorização paulista: O caso das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e Jurumirim In: Henry, R. (ed.) **Ecologia de Reservatórios**. Botucatu, Ed. FUNDABIO. p. 185 - 218, 1999 .

VALENTE J. P. S, PADILHA P. M, DA SILVA, A. M. M. Contribution of Botucatu-SP with nutrients (phosphorus and nitrogen) to the eutrophication of the Barra Bonita dam. **Eclét. Quim.**, v. 22, p. 31 - 48, 1997.

VERITY, P. G. Effects of temperature, irradiance and daylength on the marine diatom *Leptocylindrus danicus* Cleve. 2. Excretion. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** v. 55, p. 159 – 169, 1981.

VIEIRA, A. A. H. **Excreção da matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas marinhas São Paulo**. Instituto Oceanográfico. USP. 1980. (Tese de Doutorado)



VIEIRA, A. A. H., AIDAR-ARAGÃO, E. Alguns aspectos metodológicos da medida da excreção de matéria orgânica pelo fitoplâncton por espectrometria de cintilação líquida. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, v. 31, n.1, p.39 - 53. 1982.

VIEIRA, A. A. H., CÁCERES, O. Excreção de carboidratos solúveis por microalgas de água doce. I Comparação de nove diferentes espécies em quatro meios de cultura. **Ciên. Cult.** v.39, n. 11, p. 1070 - 1074, 1987.

VIEIRA, A. A. H., NASCIMENTO, O. R. Copper immobilization by high molecular weight compounds excreted by aging culture of *Ankistrodesmus densus* (Chlorococcales) **Rev. Microbiol.** v.20, n.1, p. 133 - 139, 1989.

VIEIRA, A. A. H., NASCIMENTO, O. R., SARTORI, A. L. Release of extracellular polyssacharides by *Spondylosium panduriforme* (Desmidiaceae) **Rev. Microbiol.**, v. 25, n. 1, p. 6 - 10, 1994.

VON BRAND, T. , RAKESTRAW, N. W., RENN, C. E. The experimental decomposition and regeneration of nitrogenous organic matter in sea water. **Biol. Bull.**, Woods Hole, v. 77, p. 285 – 296.

WATANABE, Y. A study of excretion and extracellular products of natural phytoplankton in lake Nakamura, Japan. **Int. Revue. Ges. Hydrobiol.** v. 65, n.6, p. 809 – 834, 1980.

WETZEL R. G, LIKENS, G. E. **Limnological analyses**. New York, Springer-Verlag, 1991. 391p.

WETZEL R. G. **Limnology**, Philadelphia: Saunders, 1983, 767p.

WETZEL, R. G. & MANNY, B. A. Decomposition of dissolved organic carbon and protists in lake water. **Limnol Oceanogr.**, v. 17, p. 927 - 931, 1972.

WETZEL, R. G. Death, detritus, and energy flow in aquatic ecosystems. **Freshwater Biology**, v.33, p.83 - 89, 1995.

WHITE, P. A., KALFF, J. RASMUSSEN, J. B. GASOL, J. M. The effect of temperature and algal biomass on bacterial production and specific growth rate in freshwater and marine habitats. **Microbial Ecol.**, v. 21, p. 99 – 118, 1991.

WISNIEWSKI, M. J. S. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita – SP.** São Carlos: UFSCar, 1998. 140p. (Tese de Doutorado)

WOTTON, R. S., WIPFLI, M. S., WATSON, L., MERRITH, R. W. Feeding variability among individual aquatic predator in experimental channels. **Can. J. Zool.** v. 71, n. 10, p.2033 – 2037. 1993.

WOTTON, R. S. Particulate and dissolved organic matter as food. In: WOTTON, R. S. (ed.) **The biology particulate in aquatic system.** London: Lewis, 1994. P. 235 – 288.

WRIGHT, R. T., HOOBIE, J. E. Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. **Ecology**, v. 47, n. 3, 447 – 464, 1966.

ZLOTNIK, I., DUBINSKY, Z. The effect of light and temperature on dissolved organic carbon excretion by phytoplankton. **Limnol. Oceanogr.**, v. 34, n. 5, p. 831 - 839, 1989.

ZWEIFEL, U. L., WIKNER, J., HAGSTRÖM, A., LUNDERG, E., NORRMAN, B. Dynamic of dissolved organic carbon in a coastal ecosystem. **Limnol. Oceanogr.**, v. 40, n. 2, p. 299 - 305, 1995.

## 8. ANEXOS

ANEXO 1 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iverseii* (temperatura média: 17,7°C).

---

Dia	Frasco 1	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 2	Frasco 3	Branco 1
0	17,1	16,5	16,4	0	18,7	18,4	18,2
1	16,1	17,3	17,3	1	18,6	18,5	18,3
2	17,3	18,6	17,6	3	18,0	17,2	16,7
3	17,9	18,2	18,6	5	16,9	15,5	21,8
4	19,5	16,8	17,8	10	15,2	16,5	17,0
5	16,5	19,7	19,7	20	16,3	15,7	17,5
6	17,9	16,2	17,9	30	21,8	16,5	16,8
7	18,9	18,0	18,2	60	17,8	16,6	17,3
8	19,5	18,2	18,5	90	16,5	17,9	16,7
9	17,6	19,7	19,7	120	16,1	15,9	16,5
10	17,5	17,0	16,0				
11	16,2	17,3	17,3				
12	16,5	16,5	16,5				
13	15,9	17,8	17,2				
14	16,0	17,9	17,1				
15	17,3	16,2	16,5				
17	17,5	18,8	18,3				
19	18,6	17,3	17,0				
21	17,4	18,5	18,4				
23	19,6	17,1	17,8				
25	19,5	17,0	17,9				
27	16,1	17,3	16,3				
29	16,7	16,9	16,0				
32	15,3	18,7	18,1				
35	17,5	15,9	16,0				
38	18,5	16,2	16,7				
41	16,7	15,5	15,5				
43	16,3	15,6	16,6				
45	16,9	15,8	17,0				
48	17,1	16,3	16,3				
51	17,5	16,5	16,5				
54	18,7	17,1	18,1				

Média: 17,7°C

Desvio Padrão:1,2

---

ANEXO 2 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iverseii* (temperatura média: 20,3°C).

---

Dia	Frasco 1	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 2	Frasco 3	Branco 1
0	21,8	21,8	22,1	0	21,1	19,7	20,8
1	20,8	21,0	21,7	1	21,9	19,1	19,6
2	19,3	19,8	19,2	3	20,2	20,3	20,9
3	22,2	22,0	22,6	5	21,8	21,3	22,1
4	19,3	19,7	19,1	10	21,2	22,0	22,0
5	20,9	20,8	21,6	20	21,8	22,7	22,3
6	20,5	20,7	20,4	30	21,9	21,8	20,0
7	19,2	18,7	19,0	60	22,7	22,3	20,0
8	20,3	21,1	21,1	90	23,4	22,6	20,7
9	19,9	19,9	19,7	120	20,9	21,7	19,2
10	20,9	20,8	19,8				
11	19,9	20,1	20,0				
12	20,2	19,7	19,4				
13	19,9	20,3	20,5				
14	18,4	19,0	19,5				
15	19,0	19,1	19,3				
17	18,8	21,7	21,7				
19	18,2	19,0	19,2				
21	19,0	19,6	19,9				
23	18,9	19,4	19,9				
25	19,6	19,7	19,9				
27	19,0	19,6	20,1				
29	19,9	20,4	20,9				
32	18,9	19,6	20,0				
35	18,0	18,9	19,3				
38	19,9	20,0	20,2				
41	19,2	19,3	19,8				
43	19,1	19,5	20,0				
45	19,4	19,7	20,1				
48	20,8	21,4	21,8				
51	19,8	19,8	20,0				
54	19,7	20,6	20,5				

Média: 20,3°C

Desvio Padrão: 1,1

---

ANEXO 3 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iversenii* (temperatura média: 22,4°C).

---

Dia	Frasco 1	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 2	Frasco 3	Branco 1
0	21,9	21,8	22,2	0	21,8	21,8	23,8
1	22,2	20,7	21,9	1	24,1	21,6	23,8
2	21,5	22,6	20,9	3	24,7	23,9	23,6
3	20,7	21,5	20,0	5	23,6	24,6	21,2
4	22,0	22,1	23,0	10	24,2	24,1	22,7
5	21,7	22,5	21,6	20	24,3	24,0	23,2
6	22,1	22,5	21,7	30	23,2	23,1	21,0
7	20,2	20,8	19,7	60	24,6	25,6	22,3
8	20,9	21,1	22,0	90	25,4	27,3	22,6
9	21,5	21,9	20,5	120	25,2	25,0	21,3
10	21,6	22,2	21,2				
11	21,2	22,6	20,8				
12	21,9	23,0	21,0				
13	22,0	23,3	23,1				
14	21,0	22,3	22,7				
15	21,0	21,5	22,2				
17	21,0	22,3	22,1				
19	21,3	23,0	23,6				
21	21,3	22,5	23,8				
23	22,8	23,7	24,1				
25	21,0	21,7	22,9				
27	19,6	21,7	22,0				
29	21,6	22,3	23,2				
32	20,9	21,5	22,6				
35	22,0	23,1	23,3				
38	21,8	23,0	23,4				
41	21,0	22,5	25,8				
43	21,2	22,6	25,5				
45	21,4	22,5	23,1				
48	21,4	22,1	22,6				
51	21,2	22,3	21,9				
54	22,8	23,8	23,9				

Média: 22,4°C

Desvio Padrão: 1,3

---

ANEXO 4 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iversenii* (temperatura média: 27,0°C).

---

Dia	Frasco 1	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 2	Frasco 3	Branco 1
0	24,0	26,9	23,1	0	27,1	26,4	27,0
1	24,8	25,9	22,7	1	27,3	26,9	27,7
2	26,6	27,2	26,6	3	26,5	27,3	27,4
3	27,8	27,4	25,2	5	21,8	28,6	26,1
4	26,2	28,2	27,4	10	28,3	26,6	24,5
5	27,2	28,8	28,8	20	27,3	27,8	26,3
6	27,5	29,1	26,3	30	27,8	21,8	27,7
7	27,4	28,7	26,8	60	28,3	27,9	26,5
8	28,2	27,9	27,9	90	28,0	25,4	27,1
9	27,7	28,0	27,6	120	27,7	28,4	25,1
10	27,4	28,5	28,3				
11	27,1	27,7	27,1				
12	27,1	27,0	27,2				
13	27,5	26,6	27,0				
14	27,7	26,8	27,0				
15	28,0	25,5	27,8				
17	28,3	26,5	26,1				
19	28,4	26,9	26,4				
21	28,3	27,1	25,8				
23	28,6	27,1	26,0				
25	28,4	27,5	26,1				
27	27,7	27,3	27,0				
29	27,0	25,3	25,4				
32	26,8	26,7	28,0				
35	26,5	26,6	27,8				
38	25,6	26,9	27,1				
41	26,8	27,6	26,3				
43	27,0	27,1	26,1				
45	27,1	27,3	26,7				
48	26,8	27,8	26,8				
51	26,9	26,9	27,0				
54	26,9	25,0	27,1				

Média: 27,0°C

Desvio Padrão:1,3

---

ANEXO 5 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células íntegras de *S. iverseii* (temperatura média 18,2°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 3	Frasco 4	Branco 3
0	17,0	17,6	17,2	17,0	0	24,2	24,2	24,2
1	21,0	17,6	21,4	19,9	1	17,9	17,1	17,2
2	20,8	16,8	16,1	16,9	3	16,6	16,3	15,9
3	22,3	20,2	17,3	18,7	5	16,5	16,6	15,7
4	20,7	16,2	18,8	17,6	10	16,7	15,4	16,7
5	21,5	17,0	21,8	17,0	20	16,6	15,6	16,3
6	20,9	16,9	19,1	19,0	30	15,7	15,9	16,2
7	18,7	18,2	17,1	16,8	60	15,4	14,7	16,9
8	19,3	19,8	16,8	17,6	90	15,2	17,8	16,3
9	19,5	20,7	15,8	16,8	120	16,5	16,3	16,2
11	21,2	20,9	16,7	17,3				
13	18,8	19,4	15,3	15,0				
14	21,1	22,2	16,1	15,2				
15	22,5	22,3	17,8	16,7				
16	16,5	17,6	16,2	15,6				
17	19,7	16,7	16,6	17,1				
19	16,5	17,5	17,9	15,9				
20	16,6	16,6	16,3	16,3				
21	19,9	18,7	17,2	16,6				
23	18,4	18,6	18,5	16,3				
26	16,5	16,4	16,4	16,6				
28	16,7	16,5	19,3	18,1				
31	17,3	16,3	18,4	18,5				
33	16,7	17,4	16,8	16,7				
35	16,9	18,4	17,1	18,2				
37	16,7	16,1	19,0	20,7				
40	17,1	19,7	17,8	17,8				
42	19,3	20,7	18,8	20,5				
47	19,6	18,9	21,5	22,0				
49	18,4	19,4	18,1	19,3				
51	16,6	21,1	17,3	18,8				
56	19,6	21,2	22,2	17,2				
63	22,9	17,6	20,3	21,3				
71	15,6	17,6	19,3	20,3				
73	15,9	20,8	19,9	20,6				

Média: 18,2°C

Desvio Padrão: 2,0

---

ANEXO 6 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células íntegras de *S. iverseii* (temperatura média: 21,4°C).

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 3	Frasco 4	Branco 3
0	21,2	23,2	24,5	24,7	0	24,2	24,2	20,8
1	21,8	22,3	22,2	23,1	1	21,4	22,7	19,0
2	21,9	23,4	20,1	21,9	3	22,1	21,4	22,2
3	22,7	23,6	22,7	21,5	5	20,8	20,4	20,6
4	23,4	24,1	22,2	22,7	10	20,3	20,2	21,8
5	20,9	21,8	19,9	20,8	20	20,4	21,5	21,7
6	23,3	23,9	20,1	21,1	30	21,3	20,4	20,2
7	24,0	23,6	22,6	20,7	60	20,4	19,9	22,6
8	22,7	24,2	20,3	19,8	90	20,9	20,0	21,7
9	23,6	23,7	20,2	19,9	120	20,9	22,4	19,6
11	24,0	24,3	19,7	19,9				
13	22,3	22,6	20,1	20,8				
14	20,0	21,7	20,0	20,8				
15	20,0	22,7	20,4	20,4				
16	20,7	20,8	20,9	20,2				
17	19,7	20,8	20,3	21,5				
19	19,5	20,3	20,4	22,7				
20	19,0	20,4	19,9	21,4				
21	18,9	19,3	20,0	22,4				
23	19,0	18,1	19,7	21,5				
26	20,4	19,6	20,7	22,5				
28	19,5	20,1	20,2	23,1				
31	17,5	19,1	19,8	20,0				
33	19,9	19,8	20,0	23,7				
35	20,0	18,8	19,6	21,0				
37	22,9	22,4	22,3	24,5				
40	21,7	22,5	25,1	25,7				
42	20,3	20,1	22,0	22,7				
47	20,6	21,9	20,8	20,4				
49	18,2	17,8	25,6	26,7				
51	19,7	20,1	23,4	20,3				
56	21,0	22,0	21,3	23,7				
63	21,6	23,9	23,9	23,9				
71	20,3	20,8	23,3	25,0				
73	18,6	20,0	23,7	23,3				

Média: 21,4°C

Desvio Padrão: 1,7



ANEXO 7 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células íntegras de *S. iverseii* (temperatura média: 27,0°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 3	Frasco 4	Branco 3
0	24,7	23,9	25,0	24,6	0	24,2	24,2	23,5
1	23,6	24,6	23,7	23,0	1	21,4	24,6	22,3
2	24,2	24,1	23,3	24,1	3	22,1	24,1	24,2
3	24,3	24,0	25,0	24,5	5	20,8	20,4	24,3
4	23,2	23,1	23,3	24,6	10	20,8	23,1	26,6
5	24,6	25,6	25,4	25,3	20	20,3	25,6	26,1
6	25,4	27,3	25,0	25,2	30	20,4	27,3	24,8
7	25,2	25,0	23,9	23,2	60	21,3	25,0	25,2
8	25,1	26,2	25,2	25,1	90	20,4	26,2	25,1
9	26,3	26,1	25,4	25,4	120	20,9	26,1	24,2
11	26,0	25,6	25,9	26,4				
13	26,1	25,4	25,4	25,9				
14	24,9	24,9	26,5	26,4				
15	24,8	24,2	25,9	26,0				
16	24,2	24,7	25,1	26,8				
17	24,7	23,7	26,2	26,1				
19	25,2	25,2	26,0	26,0				
20	23,9	24,6	25,9	26,3				
21	23,4	24,7	25,9	26,3				
23	25,2	23,9	25,1	25,8				
26	22,7	24,1	25,9	25,9				
28	23,3	24,4	25,4	25,8				
31	23,9	23,9	23,8	24,6				
33	25,1	25,3	26,0	26,7				
35	25,0	24,2	25,7	26,2				
37	26,4	24,8	27,1	27,5				
40	24,3	24,9	26,7	21,7				
42	26,7	23,8	25,4	24,4				
47	24,1	24,9	24,7	25,8				
49	24,1	25,0	24,0	25,5				
51	24,2	26,2	25,7	26,2				
56	26,8	27,2	26,4	25,6				
63	25,3	25,5	26,0	27,2				
71	22,8	24,3	26,0	27,3				
73	22,0	23,9	26,5	27,4				

Média: 24,8°C

Desvio Padrão: 1,4

---

ANEXO 8 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição de células íntegras de *S. iverseii* (temperatura média: 27,0°C).

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Branco 1	Branco 2	Dia	Frasco 3	Frasco 4	Branco 3
0	27,9	27,1	25,6	26,0	0	24,2	24,2	27,2
1	25,4	25,2	23,5	24,1	1	26,2	27,8	26,7
2	28,4	28,3	26,2	26,6	3	28,3	27,1	20,8
3	26,1	27,7	27,1	27,8	5	27,7	27,1	22,2
4	24,5	26,3	27,5	24,4	10	26,3	27,5	27,9
5	26,3	27,3	27,6	27,1	20	27,3	27,6	28,0
6	27,7	27,8	28,0	26,6	30	27,8	28,0	27,3
7	26,5	26,5	27,7	25,7	60	26,5	27,7	27,2
8	28,0	28,3	28,2	28,4	90	28,3	28,2	25,0
9	27,7	27,3	28,4	28,3	120	27,3	28,4	24,7
11	28,6	28,2	28,8	28,0				
13	26,6	26,6	27,6	28,2				
14	27,8	27,3	29,8	29,7				
15	27,2	26,2	28,4	27,4				
16	26,8	27,2	28,3	29,2				
17	26,9	28,0	29,6	29,5				
19	27,3	28,0	27,6	28,9				
20	26,7	28,1	27,2	27,6				
21	27,0	27,2	27,7	27,3				
23	27,3	27,9	27,3	27,8				
26	26,0	28,4	28,2	27,9				
28	26,6	27,3	27,4	27,5				
31	25,7	25,5	27,4	26,8				
33	27,4	27,8	28,0	28,5				
35	25,6	27,6	28,1	27,9				
37	28,1	28,7	27,6	27,3				
40	23,5	21,8	20,0	20,7				
42	19,9	14,3	12,5	14,2				
47	23,4	23,5	22,4	23,5				
49	28,2	28,4	28,8	28,5				
51	25,6	26,2	26,5	26,4				
56	27,3	27,1	27,6	27,8				
63	28,0	28,2	28,2	28,0				
71	27,0	27,2	30,0	29,1				
73	26,7	27,2	29,6	28,4				

Média: 26,8°C

Desvio Padrão: 2,5

ANEXO 9 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares excretados de *S. iverseii* (temperatura média: 18,2°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Branco 1	Branco 2
0	19,3	18,3	18,5	19,3	18,7	19,4
1	19,4	18,6	18,3	18,6	19,1	19,0
2	18,3	18,1	18,4	19,0	18,6	18,9
3	18,0	18,0	19,0	19,8	18,9	18,4
4	17,7	18,1	17,7	18,8	18,7	18,9
5	17,5	18,8	17,7	19,0	19,0	18,9
6	17,6	18,9	18,3	19,4	19,1	18,9
7	19,3	19,1	18,7	19,1	18,9	18,9
8	20,7	19,3	18,6	19,9	18,8	19,3
9	21,3	19,3	18,4	19,8	19,5	19,1
10	21,0	18,8	19,6	20,9	18,5	19,0
11	20,2	18,4	20,2	21,6	19,7	19,7
13	20,8	18,7	20,2	20,9	19,6	19,0
14	21,6	19,6	20,3	21,3	19,8	21,1
15	21,3	20,4	20,5	20,9	19,9	20,1
16	20,5	18,6	20,9	21,2	19,3	20,3
20	21,9	18,3	20,0	20,6	19,1	19,2
22	18,5	18,4	20,1	21,2	20,9	19,5
25	18,1	18,3	21,4	22,5	20,3	21,0
28	18,7	18,4	19,7	19,8	20,2	19,2
33	18,3	19,9	20,4	21,5	22,1	20,7
36	18,9	21,8	20,5	20,3	20,6	20,8
40	16,6	17,7	18,9	18,4	20,3	19,7
52	17,7	18,2	18,1	18,3	19,7	22,1

Média: 18,2°C

Desvio Padrão: 2,0

---

ANEXO 10 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares excretados de *S. iversenii* (temperatura média: 27,0°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Branco 1	Branco 2
0	22,6	23,7	24,1	23,7	18,9	19,4
1	24,2	24,2	24,4	24,4	24,5	24,5
2	21,6	22,8	24,3	24,1	24,4	24,1
3	23,9	23,7	23,9	23,5	23,4	23,6
4	23,5	21,4	23,8	23,6	24,4	23,3
5	22,9	21,2	24,9	21,5	24,6	23,6
6	23,7	21,2	24,9	21,5	24,6	23,6
7	23,9	24,0	23,0	23,2	24,5	24,4
8	23,4	23,8	24,2	24,4	23,6	24,7
9	23,5	22,6	24,3	21,1	24,9	21,9
10	22,4	23,2	24,7	24,1	21,3	23,9
11	24,6	24,6	23,7	24,3	23,4	21,5
13	24,3	25,1	24,5	24,9	21,0	22,8
14	25,2	24,4	24,7	24,0	22,2	25,0
15	24,5	23,7	24,9	22,4	25,0	24,6
16	23,5	24,3	24,5	21,3	24,0	24,3
20	24,5	24,7	24,0	24,3	24,9	24,7
22	24,8	24,2	24,2	23,8	25,3	24,5
25	23,3	23,9	24,7	24,8	25,3	25,0
28	24,6	24,6	24,5	23,7	24,6	24,7
33	23,2	24,0	24,6	24,7	24,7	25,0
36	23,1	24,6	24,7	24,5	24,4	24,6
40	22,9	24,0	24,2	22,3	25,6	23,7
52	21,6	24,6	24,8	21,2	27,6	26,3

Média: 21,4°C

Desvio Padrão: 1,7

---

ANEXO 11 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares excretados de *S. iverseii* (temperatura média: 27,0°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Branco 1	Branco 2
0	24,9	25,4	24,9	24,9	25,6	24,8
1	26,0	25,9	26,0	25,7	25,3	25,4
2	25,4	25,8	25,6	25,5	24,7	25,4
3	25,6	25,6	26,0	25,5	23,9	25,5
4	25,5	25,4	25,8	25,2	25,5	25,4
5	25,8	25,8	25,8	25,8	25,3	23,6
6	24,7	25,2	25,3	25,5	25,9	24,8
7	25,9	25,5	25,4	25,3	25,8	26,2
8	25,4	25,4	25,3	25,5	25,9	25,9
9	23,7	24,9	26,0	26,8	25,8	24,0
10	25,7	25,9	25,6	25,5	25,9	26,2
11	23,6	24,4	25,0	26,1	26,0	25,8
13	25,6	25,5	25,3	25,5	26,1	25,9
14	25,6	25,7	26,0	26,1	25,7	26,1
15	24,8	25,2	25,1	25,3	26,1	25,5
16	26,1	25,3	25,4	25,3	26,1	25,8
20	24,0	25,3	25,3	25,2	25,4	25,6
22	23,3	25,8	25,6	26,3	25,4	26,3
25	25,1	24,8	25,8	25,5	25,2	26,6
28	22,9	25,8	24,4	25,0	26,0	25,6
33	25,2	25,7	26,0	26,1	26,2	26,1
36	25,3	25,5	25,6	25,7	25,6	26,0
40	25,5	26,1	25,6	25,5	26,0	25,6
52	25,6	24,3	26,5	26,7	25,5	27,0

Média: 25,4°C

Desvio Padrão: 0,6

---

ANEXO 12 – Variações da temperatura durante o experimento de decomposição polissacarídeos de alta e baixa massas moleculares excretados de *S. iverseii* (temperatura média: 27,0°C).

---

Dia	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Branco 1	Branco 2
0	28,7	27,4	28,6	27,9	28,6	29,2
1	29,2	29,4	29,0	29,1	28,7	28,9
2	28,0	27,3	29,5	28,1	28,9	28,3
3	27,3	27,4	29,6	28,7	29,3	27,8
4	29,0	28,3	26,9	28,4	29,0	28,9
5	27,9	27,7	27,1	27,8	28,4	28,4
6	26,5	26,7	26,6	27,8	30,1	29,9
7	20,7	28,9	27,8	28,4	29,3	29,2
8	27,2	26,1	27,7	28,3	29,4	29,7
9	26,7	27,7	28,1	27,7	29,3	29,4
10	27,6	27,6	28,2	27,9	29,3	28,9
11	27,0	27,9	28,7	27,6	29,2	28,6
13	27,4	27,5	28,6	28,5	29,3	28,8
14	27,9	28,0	27,8	27,9	28,8	28,4
15	28,2	28,4	27,9	28,0	28,2	28,0
16	29,9	27,3	26,8	27,0	27,9	27,5
20	27,1	27,4	27,5	27,2	27,4	27,7
22	26,6	26,8	27,8	28,0	28,3	27,9
25	26,4	27,6	27,8	27,7	28,3	28,2
28	27,7	28,1	28,1	28,5	28,6	28,6
33	27,4	27,4	28,4	27,6	27,6	27,8
36	28,9	28,7	28,9	28,1	28,5	28,1
40	27,2	28,2	28,0	28,7	27,5	27,8
52	29,2	28,8	27,6	28,9	27,9	29,9

Média: 28,1°C

Desvio Padrão: 1,0

---

ANEXO 13 – Variações das concentrações de oxigênio dissolvidos (mg/l) durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iverseii*

Dia	Frascos com altas concentrações				Frascos com baixas concentrações			
	T <sub>17,7</sub>	T <sub>20,3</sub>	T <sub>22,4</sub>	T <sub>27,0</sub>	T <sub>17,7</sub>	T <sub>20,3</sub>	T <sub>22,4</sub>	T <sub>27,0</sub>
0	8,0	8,0	8,0	8,0	2,1	2,1	2,1	2,1
1	8,7	8,5	8,6	8,7	1,2	1,3	1,5	1,3
3	7,5	7,6	7,8	7,1	1,4	1,3	1,9	1,5
5	5,6	5,7	5,2	5,0	1,5	1,4	1,2	1,4
10	6,5	5,5	6,1	5,4	1,6	1,5	1,4	1,3
20	5,7	6,4	8,2	6,8	1,5	1,4	1,5	1,2
30	6,7	6,9	7,5	7,1	1,6	1,5	1,4	1,1
60	7,2	7,1	7,9	6,8	1,4	1,6	1,3	1,9
90	7,1	6,3	5,3	5,8	1,5	1,2	1,6	1,4
120	6,8	6,7	6,8	6,7	1,6	1,2	1,4	1,7
	Média: 6,93 mg/l Desvio Padrão: 1,04				Média: 1,50 mg/l Desvio Padrão: 0,26			

ANEXO 14 – Variações das concentrações de oxigênio dissolvidos (mg/l) durante o experimento de decomposição de células rompidas de *S. iverseii*

Dia	Frascos com altas concentrações				Frascos com baixas concentrações			
	T <sub>18,2</sub>	T <sub>21,4</sub>	T <sub>24,8</sub>	T <sub>26,8</sub>	T <sub>18,2</sub>	T <sub>21,4</sub>	T <sub>24,8</sub>	T <sub>26,8</sub>
0	8,3	8,3	8,3	8,3	1,9	1,9	1,9	1,9
1	7,6	7,5	7,6	7,7	1,7	1,8	1,6	1,7
3	6,3	7,4	7,5	7,5	1,4	1,5	1,3	1,4
5	6,5	7,8	6,5	7,3	1,2	1,3	1,5	1,6
10	7,8	7,2	6,9	5,8	1,7	1,7	1,2	1,6
20	7,5	5,9	6,5	7,5	1,9	1,5	1,1	0,9
30	7,2	6,5	6,4	6,0	1,4	1,5	1,5	1,6
60	7,8	5,5	6,3	6,3	1,3	1,7	1,6	1,4
90	7,9	5,4	6,3	6,0	1,6	1,7	1,5	1,0
120	5,7	5,0	6,3	5,0	1,6	1,6	1,5	1,0
	Média: 6,87 mg/l Desvio Padrão: 0,94				Média: 1,51 mg/l Desvio Padrão: 0,25			