

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DA EXPORTAÇÃO DE MATÉRIA
PARTICULADA (SESTON) E DISSOLVIDA DO SISTEMA HIDROLÓGICO DO
TAIM PARA A LAGOA MIRIM (RIO GRANDE DO SUL, BRASIL).

Alex Rozenquanz Schütz

Orientador: Prof. Dr. David da Motta Marques

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-
graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Ecologia.**

Porto Alegre, outubro de 2003

CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DA EXPORTAÇÃO DE MATÉRIA
PARTICULADA (SESTON) E DISSOLVIDA DO SISTEMA HIDROLÓGICO DO
TAIM PARA A LAGOA MIRIM (RIO GRANDE DO SUL, BRASIL).

Alex Rozenquanz Schütz

Orientador: Prof. Dr. David da Motta Marques

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Ecologia.**

Banca examinadora:

Prof. Dr. Adolfo O. N. Villanueva
Prof. Dra. Norma L. Würdling
Prof. Dra. Vera Lúcia M. Calegari

IPH/UFRGS
PPG Ecologia/UFRGS
Fundação Zoobotânica/RGS

Porto Alegre, outubro de 2003

Schütz, Alex Rozenquanz

**CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DA EXPORTAÇÃO DE
MATÉRIA PARTICULADA (SESTON) E DISSOLVIDA DO
SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM PARA A LAGOA MIRIM
(RIO GRANDE DO SUL, BRASIL)./**

Alex Rozenquanz Schütz – Porto Alegre: UFRGS,
2003.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio
Grande do Sul. Instituto de Biociências – Departamento de
Ecologia. Porto Alegre, 2003.

1. Ecologia Aquática
2. Limnologia
3. Banhados

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências junto ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. David M.L. da Motta Marques.

Trata-se de uma fase do Sub-projeto - Padrões e Estruturas no Sistema Hidrológico no Taim: Elementos para Definição de Uma Política de Gestão: Produção de Seston - do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), um esforço de colaboração entre cientistas, estudantes e agências de fomento representadas pelo MCT – CNPq visando permitir o desenvolvimento de estudos ecológicos segundo uma agenda comum de pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Quero inicialmente agradecer este trabalho ao Prof. Dr. David da Motta Marques pela orientação, confiança depositada e oportunidade de crescimento profissional, além do principal: o conhecimento acerca da pesquisa em ecologia.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e seu corpo docente que além do conhecimento transmitido, possibilitou minha pós-graduação.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e a CAPES pela concessão da bolsa.

Ao IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas), pelo apoio logístico e corpo de técnicos, em especial Álvaro Frantz, Antônio Bueno e Rogério Nunes.

À equipe de estagiários: Wagner Soares, Cintia Boeira Batista, Caroline Schardong e Vinícius Quadros que merecem um agradecimento especial, pois sem eles seria impossível a realização de todas as etapas analíticas do trabalho.

Aos colegas de laboratório Tiago Finkler Ferreira, Vanessa Gazulha Paulo, Cristófer Ramos Moreira, Vladimir Felício e demais colegas do Laboratório de Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS.

À minha família por estar sempre comigo.

À minha Patrícia pelo apoio, incentivo e carinho infinitos.

RESUMO

No presente trabalho foram estudadas as variações sazonais do material orgânico e inorgânico transportado pelo efluente que deixa o Sistema Hidrológico do Taim via comportas de drenagem. O Sistema Hidrológico do Taim, localizado a sudeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, compreende um complexo de banhados e lagoas que trocam massas de água entre si e com sistemas lacustres adjacentes (Lagoa Mirim). Uma das principais características de banhados (“wetlands”) são os altos níveis de produção primária, relacionados principalmente a grande quantidade de macrófitas aquáticas presentes nestes ecossistemas, que associados a intensas variações dos níveis e dos fluxos de água, fazem com que estes tenham importância primordial na bacia da qual fazem parte no sentido de reterem ou exportarem biomassa detritica e nutrientes.

Neste sentido, esta dissertação pretende esclarecer sobre a dinâmica dos processos ecológicos ocorrentes em banhados e estabelecer metodologias que permitam uma melhor gestão dos recursos hídricos destes ecossistemas. Mais especificamente pretende definir e quantificar os padrões na exportação de matéria e nutrientes do Sistema Hidrológico do Taim para Lagoa Mirim e obter subsídios para compreender as influências destes banhados marginais em sistemas lacustres contíguos.

Uma série de variáveis hidrometeorológicas (Precipitação, Velocidade do Vento e Nível da Coluna D'água) e físico-químico-biológicas (Temperatura, Condutividade, pH, ORP, Carbono Orgânico Total, DQO, Sólidos, Fósforo Total e Clorofila α) foram usadas para descrição do efluente e, ao longo do ano de 2002, duas campanhas paralelas realizaram coletas periódicas da água que deixa o banhado via as comportas drenagem situadas a norte do sistema.

Os resultados evidenciaram que grande parte do material transportado pelo efluente drenado do Sistema Hidrológico do Taim se encontra na forma dissolvida, além deste mostrar uma variação sazonal determinada principalmente pelos períodos de cheia e estiagem do banhado, que

caracterizam o hidroperíodo, e pelo vento, fator constante e decisivo para a dinâmica de ecossistemas costeiros. A concentração de nutrientes na coluna d'água, e conseqüentemente carregada pelo efluente, é baixa, o que pode estar relacionado principalmente à rápida ciclagem e mobilização destes na biomassa vegetal.

ABSTRACT

This work is a study of the seasonal variation in the organic and inorganic matter transported by the discharge waters that leave the Taim Hydro Basin through drainage gates. The Taim Hydro Basin includes a network of wetlands and lakes that exchange waters within the basin and with neighboring lake basins (Lagoa Mirim). One of the main characteristics of wetlands is the high level of primary production, especially of water macrophytes typical of such ecosystems. This organic production, together with the strong variations in the levels and flow of waters, makes the wetland ecosystems of fundamental importance to their hydro basins because they help to retain biomass and nutrients.

In this work I undertake to explain the dynamics of the ecological processes that take place in the wetlands and try to determine methods for better management of the water resources of these ecosystems. More specifically, I try to identify and quantify the matter and the nutrients discharged from the Taim Hydro Basin into Lagoa Mirim and gather information to better understand the influence of these marginal wetlands on the adjoining lake basins.

A series of hydrometeorological variables (rainfall, wind speed and water level) and physical-chemical-biological variables (temperature, conductivity, pH, ORP, total organic carbon, DQO, solids, total phosphor, and α chlorophyll) were used to describe the discharge water that leaves the wetlands through drainage gates.

The results demonstrate that a large part of the material is dissolved in the discharge water of the Taim Hydro Basin. The results also show a seasonal variation largely determined by the periods of flood and drought in the wetlands, which characterize the hydroperiod, and by the wind, a constant and decisive factor that affects the dynamics of coastal ecosystems. The concentration of the discharged nutrients in the water is low, which perhaps is related in large part to its quick recycling in the vegetable biomass.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 – Terras úmidas – banhados: definições.....	3
2.1.1 – Distribuição de terras úmidas.....	6
2.1.2 – Funções e valores de terras úmidas.....	7
2.1.3 – Hidroperíodo e regime hídrico.....	11
2.1.4 – Produtividade primária em banhados e a dinâmica da matéria orgânica e nutrientes.....	14
2.2 – O Banhado do Taim.....	18
2.2.1 - Planície costeira e localização do Banhado do Taim.....	18
2.2.2 – Evolução de região de inserção do Sistema Hidrológico do Taim.....	20
2.2.3 – Classificação do Banhado do Taim.....	21
2.2.4 – Clima.....	22
2.2.5 – Solos.....	23
2.2.6 – Hidrologia e hidroperíodo.....	24
2.2.7 – Formação vegetal.....	28
2.3 – O material particulado (seston) e dissolvido.....	31
2.3.1 – Fatores determinantes do seston e do material dissolvido.....	35
2.3.1.1 – Regime hídrico.....	35
2.3.1.2 – Cobertura vegetal – Vegetação associada e macrófitas.....	36
2.3.1.3 – Variações Climáticas.....	38
3. Objetivos.....	39
4. Materiais e métodos.....	40
4.1. Delineamento amostral e tratamento das amostras.....	40
4.1.1. Amostragem quinzenal.....	41
4.1.1.1. Variáveis analisadas.....	41
4.1.2. Campanha mensal e perfil diário.....	42
4.1.2.1. Variáveis analisadas.....	42
4.2. Metodologias para as variáveis Físico-químicas e Biológicas.....	44
4.2.1. Nutrientes.....	44
4.2.1.1. Fósforo total.....	44
4.2.1.2. Nitrogênio.....	44

4.2.2. Demanda química de oxigênio.....	44
4.2.3. Sólidos totais, dissolvidos e suspensos.....	44
4.2.4. Carbono Orgânico Total.....	46
4.2.5. Extração de pigmentos.....	46
4.3. Variáveis Hidrometeorológicas.....	47
4.4. Tratamento dos dados.....	48
5. Resultados e Discussão.....	50
5.1. Descrição das variáveis.....	50
5.1.1. Variáveis hidrometeorológicas.....	50
5.1.1.1. Precipitação.....	50
5.1.1.2. Níveis da água.....	51
5.1.1.3. Vento.....	53
5.1.2. Variáveis físico-químicas.....	54
5.1.2.1. Temperatura da água.....	55
5.1.2.2. Potencial hidrogeniônico.....	56
5.1.2.3. Condutividade.....	57
5.1.2.4. Potencial de oxirredução.....	58
5.1.3. Análises estimativas da concentração de matéria no efluente.....	59
5.1.3.1. Carbono Orgânico Total.....	59
5.1.3.2. Demanda Química de Oxigênio.....	61
5.1.3.3. Sólidos – dissolvidos e particulados.....	63
5.1.3.4. Sólidos – orgânicos e inorgânicos.....	65
5.1.4. Nutrientes – fósforo e nitrogênio.....	67
5.1.5. Clorofila α	70
5.2. Síntese dos padrões de variação (PCA).....	73
5.3. Estimação da concentração do material exportado do SHT.....	76
6. Conclusões.....	80
7. Recomendações.....	82
8. Bibliografia.....	83

LISTA DE FIGURAS

	<i>pg.</i>
Figura 2.1 - Corte esquemático de uma fronteira de terra úmida.	3
Figura 2.2 - Modelo conceitual da importância do regime hídrico em um ecossistema de terras úmidas.	11
Figura 2.3 – Componentes do regime hídrico e do hidroperíodo de terras úmidas.	13
Figura 2.4 – Relação da produtividade em banhados com a intensidade do fluxo d'água.	16
Figura 2.5 – Localização da Estação Ecológica do Taim.	19
Figura 2.6 – Hidroperíodo potencial do banhado do TAIM.	26
Figura 2.7 – Variação da lâmina d'água no Banhado do Taim	27
Figura 2.8 – Importância do compartimento representado pela matéria dissolvida e particulada (seston) dentro do ecossistema aquático.	32
Figura 2.9 – Influência da vegetação nos processos hidrológicos	35
Figura 4.1 - Comportas de drenagem e localização no Sistema Hidrológico do Taim.	40
Figura 4.2 - Autoamostradores ISCO®, Sonda Yellow Spring® e estação de dados meteorológicos.	42
Figura 5.1 – Variação da precipitação mensal total (mm) (dez/2001 – dez/2002).	51
Figura 5.2 - Variação da coluna d'água (m) (dez/2001 – dez/2002).	52
Figura 5.3 – Variação das médias mensais de velocidade do vento (m/s) (dez/2001 – dez/2002).	53
Figura 5.4 - Variação diária da velocidade do vento (m/s) (jan/2002 – dez/2002) da Estação de Rio Grande.	53
Figura 5.5 – Variação anual da temperatura da água (°C). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).	55
Figura 5.6 – Variação do potencial hidrogeniônico. Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).	56
Figura 5.7 – Variação da condutividade (mS/cm). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).	57
Figura 5.8 – Variação no potencial de oxirredução (mV). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).	58
Figura 5.9 – Saturação de oxigênio (%). Médias diárias de campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).	59

- Figura 5.10 – Variação do carbono orgânico (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). **60**
- Figura 5.11 – Variação da demanda química de oxigênio (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001 – dez/2002). **62**
- Figura 5.12 – Variação da demanda química de oxigênio (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). **63**
- Figura 5.13 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001 – dez/2002). **65**
- Figura 5.14 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). **65**
- Figura 5.15 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002). **66**
- Figura 5.16 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). **66**
- Figura 5.17 – Variação da concentração de fósforo (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002). **69**
- Figura 5.18 – Variação da concentração de fósforo (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). **69**
- Figura 5.19 – Médias diárias da concentração de nitrogênio total nas datas de coleta (agosto 2001 a março 2002). **70**
- Figura 5.20 – Variação da concentração de clorofila α ($\mu\text{g/L}$). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002). **72**
- Figura 5.21 – Diagramas de dispersão dos dois componentes principais obtidos por PCA. a) relação entre as variáveis no primeiro componente; b) relação entre as variáveis no segundo componente. **75**

LISTA DE TABELAS

	<i>pg</i>
Tabela 2.1 – Funções valores para terras úmidas.	8
Tabela 4.1 - Datas das campanhas quinzenais e mensais.	42
Tabela 5.1 – Coeficientes de variação diários (CV%) das variáveis descritoras do efluente drenado via comportas. Campanhas mensais.	54
Tabela 5.2 – Médias e coeficiente de variação anual (CV%) das variáveis descritoras do efluente drenado via comportas. Campanhas quinzenais	54
Tabela 5.3 - Índices de correlação de Pearson e valores de p significativos entre as variáveis climáticas e limnológicas com distribuição normal.	72
Tabela 5.4 - Índices de correlação Spearman e valores de p significativos entre as variáveis climáticas e limnológicas sem distribuição normal.	72
Tabela 5.5 - Coeficiente de correlação entre os descritores e as principais componentes obtidas por ordenação (PCA).	74
Tabela 5.6 – Modelos de regressão para as variáveis medidoras do material particulado e dissolvido (total) presente no efluente com base nas variáveis hidrometeorológicas.	78

SIGLAS

CLOR – clorofila α

COND – condutividade

CV – coeficiente de variação

DOM (dissolved organic matter) – matéria orgânica dissolvida

DQO – demanda química de oxigênio

NIVELC – nível da lâmina de água no ponto comportas

NIVELM – nível da lâmina de água no ponto Mangueira

NIVELN – nível da lâmina de água no ponto Nicola

ORP – potencial redox

PCA (principal components analysis) – Análise de componentes principais

PELD – pesquisas ecológicas de longa duração

Pd – fósforo total da fração dissolvida das amostras

pH – potencial hidrogeniônico

POM (particulated organic matter) – matéria orgânica particulada

PREC – precipitação

Pt – fósforo total da fração total das amostras

SD – sólidos dissolvidos

SF – sólidos fixos

SHT – Sistema Hidrológico do Taim

SP – sólidos particulados

ST – sólidos totais

SV – sólidos voláteis

TEMP – temperatura

TOC (total organic carbon) – carbono orgânico

1.INTRODUÇÃO

A corrida para preservar, manter e restaurar a biodiversidade no planeta nunca foi tão veloz – ou mais desafiadora do que na atualidade. Face a estes desafios ambientais que crescem em número e magnitude, torna-se emergencial desenvolver um crescente conhecimento acerca dos diversos ecossistemas existentes para que ações e estratégias de conservação possam ser implementadas em áreas prioritárias. Neste contexto, banhados são atualmente considerados ecossistemas chave dentro da paisagem desempenhando funções essenciais para manutenção dos recursos hídricos.

Embora estes ambientes ocupem menos de 6% da superfície terrestre, contribuem com grande percentagem da produção biológica global, sustentando funções ecológicas importantes para a manutenção do equilíbrio das regiões em que se inserem. Essas funções incluem a produção de alimentos, a conservação da biodiversidade, a sustentação das atividades pesqueiras, a contenção de enchentes, o controle da poluição e o potencial como áreas de recreação. Entre os processos ambientais mais significantes nesses ecossistemas estão a influência sobre o solo, a produção vegetal (produção primária) e a estocagem de nutrientes e água. O desconhecimento destas funções e sua significância acabou por converter grande parte dos banhados do mundo em terras agrícolas e urbanas (IBAMA 2000).

Apesar disso, sua importância tem sido freqüentemente subestimada quando são realizadas avaliações econômicas convencionais. Esses ambientes têm muito mais valor do que o preço de suas terras ou dos produtos imediatamente dele colhidos, pois geram vários serviços e benefícios (inclusive econômicos) pelos quais não se paga. Sua preservação é condição indispensável para a concretização do desenvolvimento sustentável. O reconhecimento de sua importância, por parte de órgãos governamentais e instituições privadas, bem como da sociedade em geral, é o primeiro passo para a sua conservação.

Segundo a Convenção de RAMSAR (1971), uma série de funções são atribuídas às terras úmidas (controle de cheias, a recarga de aquíferos, a estabilização de sedimentos, a biodiversidade). Uma função em especial torna-se de fundamental importância para o presente trabalho: a retenção de sedimentos e nutrientes associada a produtividade destes ecossistemas.

Como já foi colocado, banhados estão entre os ecossistemas mais produtivos do planeta. Sua produtividade, em termos de produção primária é geralmente elevada, em comparação com outros ambientes, sendo considerados importantes, ao mesmo tempo, como reservatórios e exportadores de matéria orgânica, nutrientes e biomassa.

Neste contexto o Banhado do Taim faz parte de um complexo de banhados marginais que alimentam a Lagoa Mirim e conseqüentemente exerce influência vital nos processos químicos, físicos e biológicos que controlam a dinâmica das comunidades que vivem e/ou dependem desta Lagoa. Uma das principais contribuições do Banhado do Taim para a Lagoa Mirim seria na forma de material alóctone, isto é, exportação de nutrientes, matéria orgânica e inorgânica na forma suspensa (seston) e dissolvida. Alterações sazonais tanto naturais como de origem antrópica (principalmente rizicultura) nos banhados e conseqüentemente alterações nos padrões de exportação dos nutrientes poderiam influenciar significativamente a ecologia da Lagoa Mirim (SHT – Relatório 2001).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Terras úmidas – Banhados: definições

Antes de tentar definir banhados, cabe introduzir a idéia de terras úmidas ou “wetlands”. O significado deste termo inclui uma série de ecossistemas distintos, mas que em geral mostram determinadas características em comum (Mitsch & Gosselink, 1986) (figura 2.1):

- Presença de lâmina d’água rasa em pelo menos um período do tempo ou solos saturados;
- Apresentam geralmente solos que diferem das áreas mais altas adjacentes, principalmente pelo acúmulo de material orgânico proveniente da vegetação;
- Contêm uma biota adaptada as condições úmidas, com ausência de espécies intolerantes a períodos de cheia;

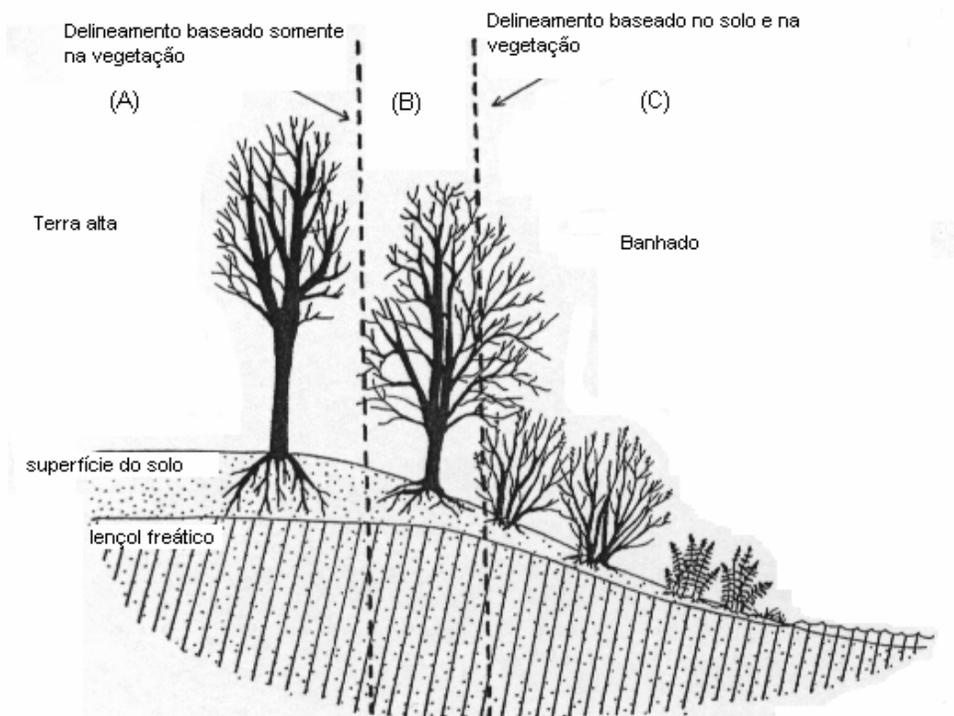


Figura 2.1 - Corte esquemático de uma fronteira de terra úmida. (A) lençol de água profundo não impõe restrição às raízes, o que favorece a colonização por lenhosas de terras secas; (B) lençol de água está entre 30 e 100 cm da superfície do solo, restringindo enraizamento, espécies lenhosas facultativas de terras úmidas estão presentes; (C) lençol de água a menos de 30 cm da superfície, espécies lenhosas e herbáceas adaptadas a terras úmidas estão presentes. Fonte: (ALLEN, 1999).

Várias definições para terras úmidas são descritas por diferentes pesquisadores. Cowardin et al., (1979) as definem como:

“terras de transição entre sistemas aquáticos e terrestres onde a lâmina d’água (lençol freático) está normalmente à superfície do solo, ou próximo a ela ou ainda coberto por uma lâmina rasa. Para os propósitos desta classificação terras úmidas devem ter um ou mais dos seguintes atributos: (a) manutenção periódica de vegetação hidrófita; (b) substrato predominantemente sendo solo hídrico não drenado; (c) o substrato não é solo e está saturado com água ou coberto por ela em algum período durante a estação de crescimento de cada ano”.

Sendo o Brasil um país tropical e a temperatura do solo estando permanentemente acima do limite mínimo de 0°C e 5°C em praticamente qualquer época do ano e região, a concepção de estação de crescimento não é válida para nossas terras úmidas (Giovaninni 2001).

De acordo com a Convenção de RAMSAR (1971) – sobre zonas úmidas de importância internacional - o conceito de terras úmidas é o seguinte:

"Zonas úmidas são áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa".

As definições de terras úmidas são geralmente de amplitudes variáveis. A definição da U.S. Fish and Wildlife Service (Cowardin et al, 1979) é amplamente aceita:

“terras úmidas são áreas de transição entre sistemas terrestres e aquáticos, onde o nível freático geralmente está na, ou próximo da superfície, ou ainda aquelas em que o solo é coberto por água rasa.”

Chomenko (1993) apud Motta Marques & Irgang (1996) coloca que terras úmidas são áreas de transição entre terra firme e rios ou lagos. São parte de um gradiente contínuo entre terras altas e o meio aquático (Smith, 1993) compartilhando características de ambos ambientes. Constituem-se

zonas de tensão. Podem ser considerados ecótonos e abrigam comunidades bióticas que dependem exclusivamente de sua manutenção.

Segundo Neiff et al. (1997), as grandes áreas de terras úmidas localizadas na América do Sul não são em sua maioria ecótonos ou interfaces entre ambientes aquáticos e terrestres. Não são de maneira funcional, sistemas de transição água-terra e por este motivo não podem ser denominados ecótonos.

Referir-se às terras úmidas como ambientes de transição implica em aceitar que estes sejam habitats temporários que evoluirão naturalmente para um sistema aquático ou terrestre, o que na maioria das vezes não acontece, salvo uma drástica mudança climática ou outro fator capaz de alterar o regime hídrico de forma significativa. As terras úmidas não são mais ecótonos ou "habitats" de transição do que qualquer outro "habitat" ao longo de um contínuo de umidade de solo, desde os desertos até as águas profundas. O conceito de ecótono é mais corretamente aplicado a comunidades individuais de plantas do que a tipos de "habitats" amplos e vastos, como podem ser as terras úmidas (Tiner 1993).

Exibindo características de ambientes aquáticos e terrestres, as terras úmidas, neste sentido, acabam recebendo variadas denominações de acordo com a paisagem na qual estão inseridas (alagado, banhado, brejo, pântano, pantanal, charco, igapó, restinga, várzea, mangue).

A terminologia banhado, com base na literatura, corresponde a apenas um dos tipos de ambientes enquadrados na categoria de terras úmidas ("freshwater marshes"). Caracterizam-se primariamente pelo fato de serem sistemas de água doce dominados por uma vegetação predominantemente composta por gramíneas e juncais mas que podem apresentar uma origem geológica e hidrologia distintas (Mitsch, Gosselink, 1986).

A produção científica nacional aprofundou muito pouco os aspectos conceituais a respeito destes ecossistemas, especialmente em relação ao

termo Banhado, amplamente utilizado no Rio Grande do Sul, onde estes ecossistemas ocupam e ocupavam grandes extensões da planície costeira e de onde provêm a maior parte dos estudos já realizados (Burger, 1999).

Na classificação vegetacional adotada pelo projeto RADAM BRASIL (IBGE, 1986) os banhados são colocados como áreas pioneiras de influência fluvial.

A FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) usa a definição de Junk para áreas que correspondem a banhados e terras úmidas. Estas são “zonas de transição terrestre aquáticas que são periodicamente inundadas por reflexo lateral de rios e lagos e/ou pela precipitação direta ou pela água subterrânea e que resultam em um ambiente físico-químico específico que conduz a biota a responder com adaptações morfológicas, anatômicas, fisiológicas, fenológicas e etológicas, produzindo estruturas de comunidades características para estes sistemas”(Burger, 1999).

2.1.1. Distribuição de terras úmidas

Cerca de metade das terras úmidas do mundo se distribuem nas regiões tropicais do globo. A importância desses ambientes para o ciclo do carbono, balanço hídrico, biodiversidade e produtividade é muito superior a proporção em área que ocupam na superfície da terra, sendo estimada em torno de 6% a 7% (Neue et al 1997).

Neiff et al. (1994) registram que a América do Sul possui as maiores áreas em terras úmidas quando comparada aos demais continentes e os banhados da planície costeira do Rio Grande do Sul estão entre as maiores áreas de terras úmidas da América Latina.

Os banhados costeiros formam-se em regiões planas resultantes de sedimentação e/ou encordoamentos paralelos à linha de costa, onde a água doce é represada e flui lentamente. A água que abastece os banhados provém de corpos hídricos próximos, como lagoas, lagunas e rios e/ou do afloramento

do lençol freático (água subterrânea), por ocasião das estações chuvosas. Os banhados podem ter comunicação física direta com outros corpos hídricos, desenvolvendo-se no entorno, em sua planície de inundação, ou ocorrerem isolados dos mesmos. Alguns banhados ligam-se com lagoas e rios apenas no período das cheias, quando formam um único sistema (IBAMA, 2000).

Esses ecossistemas ocorrem praticamente em todas as latitudes do globo, das zonas polares às zonas tropicais. No Brasil, os banhados ocorrem em quase toda a zona costeira. Na Região Sul, os banhados estão associados principalmente às lagoas costeiras. Nos estados do Paraná e São Paulo, os banhados aparecem nos sistemas estuarinos lagunares de Guaratuba, Paranaguá e Iguape. No Rio de Janeiro, são importantes as lagoas da região dos lagos fluminenses. Desta região em direção ao Nordeste, as áreas úmidas se misturam com os sistemas estuarinos e deltaicos dos rios Paraíba do Sul (RJ), Piraquê-Açú (ES), Doce (ES), Mucurí (BA), dos Frades (BA), João de Tiba (BA), Jequitinhonha (BA), Almada (BA), das Contas e Maraú (BA), Piauí (SE), Vaza Barris (SE), São Francisco (SE e AL), Coruípe, São Miguel (AL), Santo Antônio Grande (AL), Camaragibe (AL), Manguaba (AL), Una (PE), Formoso (PE) Jaguaribe (PE), Goiana (PE e PB), Paraíba (PB), Mamanguape (PB) e Potengi (RN). As áreas úmidas do Ceará e Piauí estão representadas pelas planícies lacustres e flúvio-lacustres que ocorrem dispersas por todo o litoral. A zona costeira da Região Norte, especialmente do Maranhão, Pará e Amapá, possui extensas áreas úmidas. Nestes estados ocorrem novamente os banhados e as lagoas, conhecidas na região como ressacas, e também campos, savanas e florestas inundadas temporariamente, as florestas de pântanos. E finalmente, encontramos o Pantanal no Mato Grosso (IBAMA 2000).

2.1.2. Funções e valores de Terras Úmidas

Quando são atribuídos valores e funções às terras úmidas, são considerados os processos e as suas conseqüências dentro deste ecossistema e ecossistemas adjacentes (Lewis Jr., 1995). Neste sentido diz-se que terras úmidas tem tanto valores quanto funções. Funções são caracteres palpáveis e

mensuráveis, fenômenos em geral ligados à natureza deste ecossistema. Valores decorrem de uma abordagem interpretativa do homem em relação a estas funções, oriunda inevitavelmente de uma visão antropocêntrica.

Ecossistemas de terras úmidas caracterizam-se por uma grande diversidade biológica e por características físicas e químicas que determinam funções essenciais ao equilíbrio de ecossistemas adjacentes, condicionando qualidade e quantidade de água. São funções de minimização de cheias, retenção de sedimentos e nutrientes (principalmente carbono) e habitat de uma grande diversidade biológica. A ignorância destas funções determinou a diminuição das terras úmidas para produção agrícola e crescimento urbano (Barker et al, 1996).

Smith (1993) coloca um quadro de funções e seus valores para terras úmidas (tabela 2.1):

Tabela 2.1 – Funções valores para terras úmidas. Fonte: SMITH (1993)

Funções	Valores
Armazenar e conduzir água de enxurradas	Reduzir danos associados às cheias
Amortecimento de cheias	Reduzir danos associados às cheias
Recarga de aquíferos	Manutenção de aquíferos
Descarga de aquíferos	Manutenção de aquíferos
Estabilização de zonas litorâneas	Minimizar danos de erosão
Estabilização de barrancas de cursos d'água	Minimizar danos de erosão
Reter, remover e transformar nutrientes	Manutenção da qualidade da água
Reter e remover sedimentos	Manutenção da qualidade da água
Manter integridade de ecossistemas	Manutenção de populações vegetais e animais; biodiversidade
	Preservar espécies ameaçadas
Local para atividades culturais	Oferecer oportunidades recreacionais
	Oportunidades de educação e pesquisa
	Prazer estético
	Preservar sítios arqueológicos e históricos.

Para Mitsch e Gosselink (2000), o estabelecimento de programas de gestão de terras úmidas deve considerar todos os benefícios socioeconômicos

e ambientais inerentes a estas áreas. Neste sentido, a identificação de funções e seus respectivos valores são determinantes para a adoção de políticas de desenvolvimento sustentável e gerenciamento ambiental destas áreas.

Hammer (1996) estabelece como valores funcionais seis categorias:

1. Sustentação da vida, incluindo toda a flora e fauna conhecida.
2. Modificação hidrológica, como a retenção de enchentes e aumento do fluxo d'água em períodos de seca, recarga e descarga de águas subterrâneas, alterações na precipitação e evaporação e outras influências físicas nas águas.
3. Mudanças na qualidade da água, como a remoção de substâncias biológicas, químicas e sedimentares. Mudanças no oxigênio dissolvido, pH, Eh.
4. Proteção contra erosão pela estabilização de bancos e litorais, dissipação da energia de ondas, alterações de padrões de fluxo e velocidade.
5. Caráter estético além de recreação ao ar livre, educação ambiental, pesquisa, influências paisagísticas e preservação de heranças;
6. Deposição geoquímica, incluindo carbono, enxofre, ferro, manganês e outros minerais sedimentares.

Novitzki(1995) coloca para terras úmidas estuariais com vegetação emergente a seguinte definição de funções e valores:

- *Integridade biológica*: diversidade de plantas e animais (composição das comunidades) que tem como indicadores o número de espécies nativas, raras, ameaçadas e o número total de espécies; abundância de plantas e animais que tem como indicadores a percentagem de cobertura da área, altura da vegetação e reflectância espectral da mesma, e biomassa ou número de espécies animais;
- *Produção que pode ser colhida*: relacionada à abundância de vegetais e animais e que tem os mesmos indicadores do item anterior;
- *Hidrologia*: proteção da costa, que tem como indicadores a condutividade hidráulica, e a percentagem de cobertura ou densidade da vegetação;

regime de água, área de terras úmidas, amplitude das marés, extensão das marés, profundidade das águas, Eh, sulfitos e salinidade;

- *Melhoramento da qualidade da água*: retenção de sedimentos, que tem como indicadores a taxa do aumento de terras, densidade aparente do solo, percentagem de matéria orgânica, análise de tecido e solo para contaminantes; e processamento de nutrientes com seus indicadores, percentagem e/ou densidade de cobertura, vegetação morta, sulfitos, análise de tecido vegetal, relação C/N e potencial redox-Eh.

Para Lewis Jr. (1995) a maioria das funções das terras úmidas podem ser encaixadas em três grandes categorias: **hidrológica**; **biogeoquímica** e **manutenção de habitat e cadeias tróficas**. Este estabelece de forma hierárquica a função, o efeito, o valor social e o indicador:

(i) *hidrológicas*

(a) armazenamento superficial de água de curto prazo; redução dos picos de inundação à jusante, redução dos danos causados pelas águas das enchentes; presença de uma planície de inundação ao longo das margens do rio;

(b) armazenamento superficial de água de longo prazo; manutenção do fluxo base (médio ou regular), distribuição sazonal do fluxo, manutenção de habitat para peixes durante os períodos secos; relevo da planície de inundação;

(c) manutenção do lençol de água alto, manutenção da comunidade hidrofítica; manutenção de biodiversidade; presença de hidrófitas.

(ii) *biogeoquímicas*

(a) transformação e ciclo dos elementos; manutenção de reservas de nutrientes dentro da terra úmida, produção de madeira; crescimento das árvores;

(b) retenção e remoção de substâncias dissolvidas; reduzido transporte de nutrientes à jusante, manutenção da qualidade das águas; exportação de nutrientes inferior à importação;

(c) acúmulo de turfa, retenção de nutrientes, metais e outras substâncias; manutenção da qualidade da água; aumento de espessura da camada de turfa;

(d) acúmulo de sedimentos inorgânicos, retenção de sedimentos e alguns nutrientes; manutenção da qualidade da água, aumento da espessura da camada de sedimentos.

(iii) *“habitat” e manutenção das cadeias tróficas*

(a) manutenção das comunidades vegetais características; alimento, ninho e cobertura para animais, sustento para animais de pele e aves; vegetação madura de terra úmida;

(b) manutenção do fluxo de energia característico; sustento para as populações de vertebrados, manutenção da biodiversidade; alta diversidade de vertebrados.

2.1.3. Hidroperíodo e regime hídrico

A água é um componente essencial na definição das terras úmidas. A hidrologia e o regime hídrico têm uma importância muito grande nos processos internos destes ecossistemas. Ambos determinam condições físicas, químicas e biológicas únicas que fazem destes ambientes um ecossistema diferenciado tanto de áreas com boas condições de drenagem quanto de ambientes aquáticos de águas profundas. Certamente são também a hidrologia e o regime hídrico os principais elementos para o estabelecimento e a manutenção dos diferentes tipos específicos de terras úmidas e seus respectivos processos (Mitsch e Gosselink, 1986) (figura 2.2).

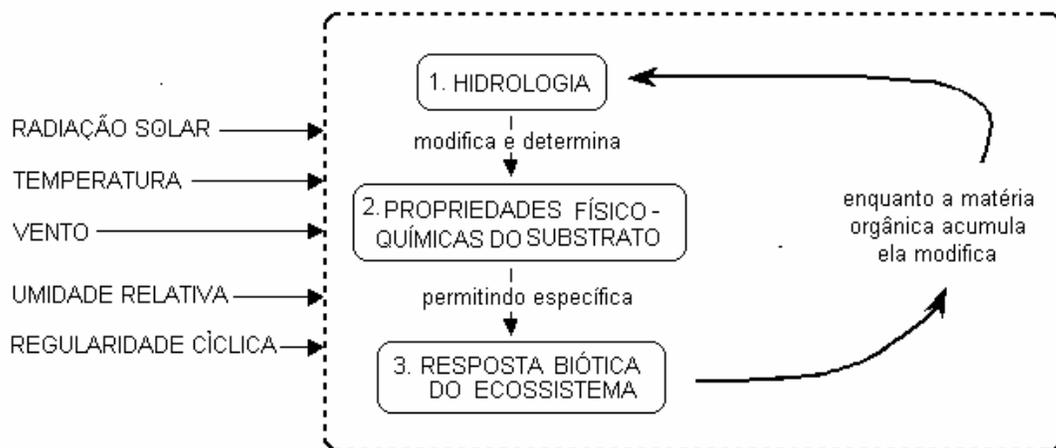


Figura 2.2 - Modelo conceitual da importância do regime hídrico em um ecossistema de terras úmidas. Fonte: adaptado de Gosselink & Turner (1977)

Hammer et al (1996) afirmam que as condições hidrológicas modificam e determinam a estrutura e o funcionamento das terras úmidas. Estas condições afetam vários fatores como anaerobiose do solo, disponibilidade de nutrientes,

e em terras litorâneas, a salinidade. Estes fatores determinam a flora e a fauna que irá se desenvolver.

A associação entre terras úmidas e seu respectivo regime hídrico torna essas particularmente sensíveis às mudanças em seus padrões normais de armazenamento e de movimento de água. Mudanças mínimas na natureza destes processos podem resultar, ou não, tanto em drásticas mudanças na biota, quanto na riqueza de espécies e produtividade do ecossistema. Se os padrões hidrológicos se mantêm similares de um ano para outro, a integridade funcional e estrutural de uma terra úmida pode persistir por vários anos (Mitsch e Gosselink, 1986).

O hidroperíodo pode ser definido como a ocorrência periódica ou regular de inundação ou condições de solo saturado (Motta Marques *et al.* 2002). Ele relaciona a posição da lâmina d'água em função do tempo. Um hidroperíodo integra aspectos de entrada e saída de água dentro do sistema.

O hidroperíodo é um importante parâmetro característico de terras úmidas. Sendo definido como o padrão sazonal do nível d'água, este determina uma "assinatura hidrológica", uma identidade para cada tipo de terra úmida. Ela é típica para cada região e sua manutenção de um ano para outro depende de uma razoável estabilidade de cada área. Lewis Jr (1995) cita que a duração e a frequência de inundação de um sítio varia de acordo com a situação hidrogeológica, e estas dependem de diferenças regionais, fisiográficas, climáticas e condições antecedentes.

O período relativo ao tempo em que áreas de terras úmidas se encontram alagadas, denomina-se duração de inundação ("flood duration"). Frequência de inundação ("flood frequency) refere-se a quantidade de vezes que uma mesma área é alagada em um determinado período (Mitsch & Gosselink, 1986).

A duração de saturação ou inundação pode ser descrita para o hidroperíodo de uma dada terra úmida por um gráfico que mostre a posição da

lâmina d'água (abaixo ou acima da superfície do solo) na área em função do tempo (figura 2.3). Um hidroperíodo de uma terra úmida integra uma série de fatores que o determinam, como precipitação pluvial, evapo-transpiração, escoamento das áreas adjacentes, enchentes e infiltração de água do solo (Kadlec & Knight, 1996).

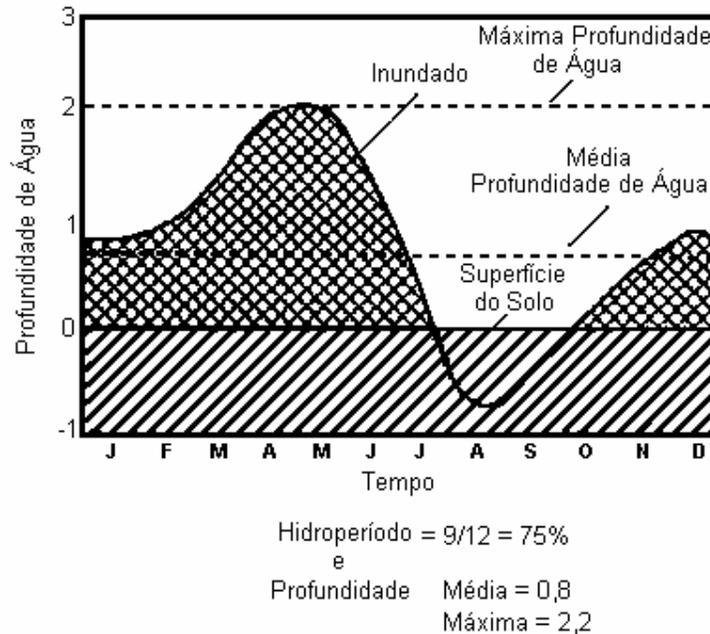


Figura 2.3 – Componentes do regime hídrico e hidroperíodo de terras úmidas. Fonte: Kadlec & Knight (1996)

Em geral, o padrão do nível da água em um banhado varia de alto e constante durante o inverno e primavera com um declínio a partir do início do verão, atingindo o menor nível no final desta estação. A partir do outono inicia-se o aumento no nível da água que ao meio do inverno novamente atinge seu valor máximo. Pequenas alterações no padrão geral podem se dar durante o verão com eventos de grandes precipitações (Gilman, 1994).

Segundo Tucci (1996) o conhecimento do hidroperíodo permite estimar o nível d'água que é esperado em determinado período de tempo em uma terra úmida. Este nível esperado é determinado basicamente pelos seguintes fatores:

- Balanço entre fluxos de entrada e saída de água;
- Contornos e topografia da paisagem

- Geologia, solo e fluxo de águas subterrâneas.

Mitsch e Gosselink (1986) colocam considerações acerca da importância do hidroperíodo:

- O hidroperíodo leva a uma composição vegetal característica, podendo limitar ou expandir a riqueza de espécies;
- A produtividade primária depende do fluxo d'água e nutrientes resultante de um hidroperíodo variável, sendo comprometida em condições estagnantes (nível fixo);
- O fluxo de matéria orgânica em terras úmidas é regulada pelo hidroperíodo de forma indireta, pela sua influencia na produtividade primária, decomposição e exportação de matéria orgânica particulada e dissolvida;
- A ciclagem e disponibilidade de nutrientes são significativamente influenciadas pelas variações do hidroperíodo;

2.1.4. Produtividade primária em banhados e a dinâmica da matéria orgânica e nutrientes

A habilidade de banhados em absorver, reter e transformar compostos associados aos sedimentos provenientes de áreas adjacentes é bem conhecida (Hiley 1995, Kadlec & Knight 1996, Knight 1997, Craft & Casey, 2000). Nutrientes e sedimentos podem aumentar, diminuir ou serem transformados ao alcançarem um banhado. Em geral, banhados não atuam apenas como sumidouro ou reservatórios para partículas inorgânicas e nutrientes solúveis mas também como fontes para compostos orgânicos dissolvidos e particulados (Horne & Goldman 1994). O fluxo de nutrientes (especialmente P e N) é capturado pelos níveis tróficos produtores (em especial a vegetação) e transformado em matéria vegetal e microbiana. Durante o crescimento e especialmente após a morte, compostos orgânicos são liberados no sistema.

Como nestes ambientes existe ainda amplo fornecimento de luz e água, a alta disponibilidade de nutrientes propicia que esses ecossistemas dominados por macrófitas apresentem os maiores níveis de produtividade primária conhecidos.

As taxas de produtividade em banhados tropicais estão então, desta forma, fortemente relacionadas à temperatura e disponibilidade de água, luz e nutrientes. Em geral, a água não é um fator limitante, mas o excesso nas cheias ou a falta nos períodos de estiagem influenciam periodicamente a produtividade nesses ambientes. O suprimento de nutrientes é um dos principais atuantes no controle da produtividade em banhados tropicais (Brinson et al 1981, apud Neue et al 1997), sendo o nitrogênio o principal componente limitante do crescimento vegetal, seguido por fósforo e potássio (Neue et al, 1997).

A capacidade de acumulação e estoque de nutrientes é, portanto, um importante fator na regulação da produtividade, riqueza de espécies e qualidade das águas em banhados. Altas taxas de produtividade primária e secundária estão fortemente ligadas com a carga e a acumulação de nutrientes (Hopkinson et al, 1992 apud Craft & Casey, 2000).

Terras úmidas estão entre os ambientes de mais alta produtividade biológica. Aquelas que apresentam ciclos de inundação e drenagem são as áreas que mostram as mais elevadas taxas de produtividade. Períodos de drenagem entre inundações produzem alterações na disponibilidade e na dinâmica do consumo de nutrientes, determinando os níveis de produtividade primária. (Mitsch & Gosselink 1986).

A produtividade primária aumenta em um hidroperíodo oscilante devido aos altos fluxos de água e nutrientes. Estas mesmas altas produtividades primárias afetam diretamente outros níveis tróficos (Tucci 1996).

Brinson (1981) apud Watt & Golladay (1999) sugere que a produtividade em banhados está intimamente vinculada à hidrologia, determinada pelo fluxo

d'água, hidroperíodo e inserção da região na paisagem. Estes fatores controlam a carga de nutrientes, taxas de entrada, decomposição, ciclagem além da formação vegetal. O autor sugere ainda um modelo para a produtividade em banhados de água doce, onde o maior fluxo de água determina maiores níveis de produtividade (figura 2.4)

Águas estagnadas e calmas < Águas de fluxo lento < Águas de maior fluxo

Figura 2.4 – Relação da produtividade em banhados com a intensidade do fluxo d'água.
FONTE: Watt & Golladay (1999).

Whigham et al (2002) trabalhando com a dinâmica de biomassa e nutrientes citam que em banhados rasos depressionais, a vegetação tem uma forte resposta às variações nas condições hidrológicas e que variações anuais da biomassa estão intimamente associadas a variações da precipitação e do hidroperíodo, as quais acabam por influenciar diretamente os níveis da lâmina d'água.

Brix (1997) associa a alta produtividade dos banhados a uma grande atividade heterotrófica, isto é, de decomposição e ciclagem de matéria orgânica e outras substâncias. Grande parte desta produtividade acaba por se deslocar para a cadeia de detritos, transformando os banhados em fontes de energia na forma de alimento, tanto para organismos locais quanto para aqueles que habitam estuários e enseadas que recebem as águas naturalmente drenadas desse ecossistema.

O compartimento representado pela biomassa vegetal e pelo sedimento ou detritos ostenta a quase totalidade da matéria e energia presentes em um banhado. A vegetação desses ecossistemas fixa gás carbônico e absorve nutrientes. Durante a senescência porém, as quantidades de matéria orgânica e nutrientes que faziam parte da estrutura vegetal passam a se constituir em elementos do compartimento de detritos. Portanto, crescimento e produtividade

vegetal estão intimamente relacionados ao fluxo, estocagem e disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica (Wetzel 1993).

Ecosistemas de banhados são em geral produtores líquidos, isto é, a produção primária excede o consumo. O destino deste excesso produtivo é fortemente influenciado pelo regime hidrológico. Teal (1962) apud Gosselink e Turner (1977) estimou que a exportação de matéria orgânica em banhados salinos, sob um alto fluxo d'água, chega a aproximadamente 45 % da produção primária. Odum e de la Cruz (1967) apud Gosselink e Turner (1977) mediram a exportação orgânica de um banhado salino na Georgia e obtiveram resultados mostrando que as taxas de matéria orgânica e de particulados totais são diretamente proporcionais ao volume do fluxo d'água. Em muitos banhados, o fluxo d'água é bastante significativo no total de material que deixa este tipo de ecossistema. Para Westlake et al (1998), esta exportação que acompanha o fluxo é provavelmente a mais importante rota para a matéria orgânica que deixa os banhados, seja na forma dissolvida ou particulada. Foi estimado que cerca de 30% a 40% da produção em pântanos costeiros e banhados é exportada para corpos d'água adjacentes (Golley et al., 1962; Teal, 1962; Heald, 1971; Day et al., 1973 apud Westlake et al. 1998).

Em banhados de turfeira, Elder et al (2000) afirmam que este tipo de ambiente funciona como um sumidouro para o CO₂ atmosférico, acumulando uma vasta quantidade deste composto como matéria orgânica, representando uma fonte potencial de carbono para sistemas aquáticos associados. Está bem documentada esta função de exportação substancial de matéria orgânica. Urban et al (1989) apud Elder (2000) encontram taxas de 8 a 40 g C m⁻² ano⁻¹ de carbono na forma dissolvida exportado de três turfeiras norte-americanas. Naiman (1982) apud Elder (2000) constatou níveis similares na exportação de DOC (carbono orgânico dissolvido) em bacias cobertas com florestas para rios adjacentes.

De La Cruz (1977) ressalta que, para a compreensão dos processos de produção primária em banhados, estudos devem considerar a hidromecânica e

a química dos nutrientes nestes ambientes, sendo os seguintes parâmetros de fundamental importância:

1. Localização Geográfica e Regime Hidrológico – Gosselink e Turner (1977) consideram a importância de vários fatores físicos que afetam a produtividade em banhados, em especial aqueles ligados à hidrologia. Medidas de temperatura do ar e do solo, nível d'água (evidenciando o regime hídrico) são fatores imprescindíveis no estudo de banhados.
2. Solo – Reader (1977) mostra que a disponibilidade de nutrientes minerais no solo é um importante fator na produção de biomassa. A investigação da química do substrato em banhados é essencial para compreender, em parte, a variabilidade produtiva observada entre diferentes estandes. Experimentos deixam claro que nutrientes não só limitam a produtividade vegetal, mas também frações e combinações de nutrientes podem maximizar o potencial de conversão de energia radiante em biomassa.
3. Comunidades de macrófitas e sua dinâmica – A detalhada descrição das comunidades vegetais em banhados é de grande importância para estudos de estimativa da produtividade primária. A caracterização precisa da produção primária em banhados demanda o conhecimento da comunidade e das variações temporais da vegetação.
4. Fatores extrínsecos – A produtividade primária em banhados é também influenciada por um número de fatores biológicos, como pastadores, agentes patogênicos, toxinas e interferência antrópica.

2.2. O banhado do Taim

2.2.1. Planície costeira e localização do banhado do Taim

A planície costeira é constituída por uma estreita faixa entre o escudo e a linha marginal às lagunas litorâneas e pelas restingas do Chuí, Rio Grande e São José do Norte. Estende-se por aproximadamente 661,4 Km com 45809 Km², desde o Estado de Santa Catarina até a fronteira com a República do

Uruguai. Tem como coordenadas geográficas ao norte o rio Mampituba a 29 20 34 sul e ao sul o arroio Chuí a 33 45 09 sul (Irgang & Gastal, 1996).

Parte dessa formação já está coberta por sedimentos aluviais recentes na área marginal da Lagoa Mirim, Laguna dos Patos e Lago Guaíba. A margem ocidental do sistema cresce com a mesma dinâmica. Nas praias lacustres evoluem acumulações de dunas com importantes participações eólicas.

Os inúmeros ambientes lacustres interiores e as áreas mais estreitas mostram um caráter evolutivo, ou seja, de que processos de sucessão ainda estão em andamento, principalmente nos banhados, que tem importante papel na região, pois funcionam como verdadeiros lagos de inundação principalmente na região junto a Lagoa Mirim e Canal de São Gonçalo (Irgang & Gastal, 1996).

A região da Estação Ecológica do Taim situa-se no extremo sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, ao sul da planície costeira, nos municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar (32° 32' e 32° 50' S de latitude e 52° 23' e 52° 32' W de longitude) tendo como seus limites o Oceano Atlântico a leste e a Lagoa Mirim a oeste (figura 2.5).



Figura 2.5 – Localização da Estação Ecológica do Taim

A Estação Ecológica do Taim ocupa uma área de aproximadamente 32000 hectares, onde cerca de 60% é ocupada por banhados e é contornada, a oeste, pela BR-471, uma rodovia internacional que vai de pelotas até o Uruguai. Seus banhados foram decretados áreas de preservação nacional pelo governo federal em abril de 1978.

A Estação Ecológica do Taim, apesar da sua grande extensão, não é um ecossistema funcionalmente íntegro, necessitando de ações de manejo para sua conservação. Existem conflitos importantes com a atividade agrícola em função da retirada de água da Lagoa Mangueira. O regime hídrico está também alterado pela construção da BR-471 e por uma comporta construída para regular a vazão entre a Lagoa Mirim e o Sistema Hidrológico do Taim (SHT - relatório 2001).

2.2.2. Evolução da região de inserção do banhado do Taim

Do ponto de vista geológico, a região da ESEC Taim é recente, formada pela deposição sedimentar marinha, eólica e lacustre, resultante de eventos ocorridos principalmente no quaternário (Ferreira et al., 1995).

O relevo da área se mostra bastante plano em sua extensão, elevando-se em apenas alguns metros acima do nível do mar. É uma região de terras predominantemente baixas, onde os pontos de maior elevação são representados por dunas litorâneas que margeiam o oceano Atlântico e por falésias marginais a Lagoa Mirim.

A região dos banhados do Taim é constituída de um depósito lacustre recente, formado pela colmatação (elevação do fundo) de um antigo canal de ligação entre a Lagoa Mirim e o Oceano Atlântico.

Segundo Buchmann (1997), há aproximadamente cinco mil anos, a região hoje ocupada pelo banhado do Taim encontrava-se submersa em um ambiente marinho raso, com o nível do mar cerca de 5 metros acima do atual. Sobre os vales afogados instalou-se uma livre comunicação entre a laguna

Mirim e o Oceano. Grande quantidade de sedimentos passa a ser trabalhada pelas ondas incidentes, e inicia-se o crescimento de um grande esporão arenoso, com cerca de 100 km de extensão, orientado paralelamente a linha de costa, ancorado nas áreas emersas e condicionado principalmente pela deriva litorânea. O paleoclima apresentava-se quente, semi-árido e com pouco aporte de água doce. Uma diversa fauna de invertebrados marinhos, principalmente moluscos bivalves, é preservada nos registros lamosos. Mais tardiamente, o topo dos sedimentos do paleocanal foi trabalhado durante a regressão do mar, causando o transporte e mistura com espécies estuarinas.

Mais recentemente, entre 2 e 2,5 mil anos, dentro da tendência regressiva da linha de costa por acrescimento de feixes de cordões litorâneos, uma nova subida do mar ocorreu, reativando o paleocanal e erodindo os cordões recém formados e favorecendo o desenvolvimento de uma vegetação nas depressões, formando localmente espessas camadas de turfa. Novamente o mar recua, estabilizando-se abaixo do nível atual. Nos últimos mil anos, o afogamento de depósitos eólicos sobre as turfás indicam uma nova subida do nível do mar. Na zona costeira é observada intensa erosão nos depósitos do Balneário Hermenegildo e a análise de dados históricos dos últimos 100 anos permite observar uma subida do nível médio das lagoas Mirim e Mangueira.

2.2.3. Classificação do Banhado do Taim

Motta Marques & Irgang (1996), classificam o Banhado do Taim, pelo método proposto por Cowardin et al. (1979), como **terra úmida emergente** (classe) **persistente** (subclasse). Uma classificação mais detalhada fica comprometida devida uma carência de informações quanto ao hidroperíodo. Os autores questionam ainda sobre a possibilidade do banhado ser resultado de um processo de regressão da lagoa Mangueira já que é possível verificar a ocorrência de penínsulas de macrófitas aquáticas ao norte da lagoa, na proximidade com o lado sul do banhado e a existência de áreas abertas dentro do estande, indicadores de que esta regressão tenha realmente ocorrido.

Em virtude da grande extensão ocupada pelo Taim, é possível classificar este como lacustre ou palustre, ou ainda abranger mais de uma classe, dependendo de onde está sendo feito o levantamento.

Cowardin et al (1979) ao conceituar terras úmidas permite que o banhado do Taim seja classificado em princípio como um sistema terra úmida emergente. Neste sistema o regime hídrico não é influenciado pelas marés do oceano; os macrófitas emergentes persistentes cobrem 30% ou mais da área; a vegetação é caracterizada predominantemente por plantas vasculares emergentes (ou ainda hidrófitos eretos) e herbáceas. Esta vegetação está presente na maior parte do banhado do Taim e praticamente todas as épocas do ano (plantas perenes).

Por ostentar esta característica de um vegetação dominada por espécies eretas e perenes, o banhado do Taim é reclassificado como *terra úmida emergente persistente*.

Considerando que o hidroperíodo do banhado do Taim ainda não se encontra totalmente compreendido e a influência antrópica certamente se faz presente com relação a este componente do ecossistema, o banhado do Taim é uma terra úmida que oscila de um estado permanentemente alagado, onde a água cobre a superfície da área ao longo do ano, a intermitentemente exposta, onde a superfície da água está presente em apenas algumas áreas ao longo do ano, excetuando-se anos de seca extrema ou seca associada a tomada de água para irrigação.

2.2.4. Clima

O clima da região de inserção dos banhados pode ser definido, segundo a classificação de Köppen, como subtropical. O regime de precipitações médias anuais é bastante uniforme, embora alguns valores mensais apontem acentuada dispersão acima da média e as chuvas sejam bastante irregulares (o que não fica evidente nas médias mensais). A precipitação média anual é de 1100 mm e temperatura média do ar é de 18°C (Gomes, 1987).

Segundo Gomes (1987), comparando as médias mensais da região fica evidente um índice de pluviosidade bastante homogêneo, sem uma forte sazonalidade ou estação seca. Entretanto, como no verão a precipitação se mostra menos distribuída, a associação à temperaturas mais elevadas condiciona um certo déficit hídrico nesta época do ano.

Os ventos predominantes são os de sentido nordeste e as precipitações do tipo convectivo não são raras. A combinação de chuvas intensas e irregulares, uma forte evaporação nos períodos quentes, acrescidas da ação permanente do vento, provoca grandes variações na coluna d'água do banhado, que são maximizadas quando se observa a topografia pouco acidentada da região (Gomes, 1987).

Uma forte sazonalidade é vigente na região quanto aos aspectos meteorológicos, na qual se evidencia em invernos frios e chuvosos e verões quentes e secos. Essa característica do clima é justificada pelo fato de a região litorânea ser controlada por massas de ar de origem tropical marítima na estação quente e polar marítima na estação fria, sofrendo ainda a intervenção termo-reguladora da proximidade com o Atlântico e massas de água interiores (Lagoa Mirim).

2.2.5. Solos

Os solos da região do Sistema Hidrológico do Taim, por se localizarem na planície costeira, têm origem de processos de deposição predominantemente marinha, lacustre e eólica com sedimentos de origem diversa e com um hidromorfismo bastante acentuado além de um perfil heterogêneo.

A presença de água é imprescindível para a gênese de solos hidromórficos, hídricos ou de várzea. Portanto, costumam ser classificados como solos deste tipo àqueles presentes em planícies de rios e lagos onde se desenvolveram pelo depósito de sedimentos. O hidromorfismo está relacionado

às características de má drenagem do solo. Solos hidromórficos resultam principalmente da incorporação de matéria orgânica e de sedimentação que associado a um arejamento deficiente condiciona a uma decomposição lenta da matéria orgânica, provocando seu acúmulo em um ambiente redutor (potencial de óxido-redução) dando ao solo uma coloração acinzentada (Klamt et al, 1985).

De acordo com USDA/NRCS (1998), solos hídricos são solos formados sob condições de saturação, alagamento, ou inundação por tempo suficientemente longo, a ponto de gerar condições anaeróbias em sua parte superficial. Assim, dependendo das outras condições de gênese de solo, vários tipos de solo poderão ser formados.

Klamt et al (1985) citam uma série de solos de várzea típicos da planície costeira e da região de inserção do Sistema Hidrológico do Taim, dentre os quais destacam-se: solos halomórficos (solos com altos teores de sais solúveis, com sedimentos de origem marinha); solos orgânicos (solos com consideráveis teores de compostos orgânicos em decomposição, formando camadas turfosas); planossolos (solos planos com horizontes superficiais arenosos); glei tiomórfico (solos hidromórficos e salinos contendo compostos de enxofre e elevados teores de matéria orgânica); e areias quartzosas hidromórficas (solos oriundos de sedimentos arenosos de quartzo, pobres em nutrientes e bastante suscetíveis ao vento).

2.2.6. Hidrologia e hidroperíodo do Banhado do Taim

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) no qual está inserido o banhado do Taim constitui um extenso complexo de corpos hídricos associados. O sistema do banhado se constitui um importante componente deste complexo que drena a água das Lagoas Mangueira, Jacaré, Nicola, Flores e Caiubá. O banhado do Taim, via uma estrutura de comportas, conecta-se a Lagoa Mirim que por sua vez, via Canal de São Gonçalo, comunica-se com a Lagoa dos Patos. Como este sistema troca massas de água entre grandes área de

acumulação via pequenas calhas de escoamento, ocorrem inundações periódicas no Banhado do Taim (Tucci, 1996).

A existência de uma extensa rede de arroios e canais interligando as lagoas e os banhados tornam o fluxo da região da estação bastante complexo e abrangente (Villanueva, 1997). Segundo o mesmo autor, o sistema no qual a Estação Hidrológica do Taim está inserida pode ser dividida em três subsistemas: Sistema Norte, Lagoa Mangueira e Sistema Banhado do Taim.

(i) Sistema Norte: constituído pelas Lagoas Caiubá e Flores e pelo banhado Marisco; apresenta um fluxo definido pelo escoamento superficial da bacia de contribuição para as lagoas, e por um canal ligando a Lagoa das Flores ao banhado do Taim;

(ii) Lagoa mangueira: apresenta uma grande superfície líquida (~820 km²) e importante bacia de contribuição; além das perdas por evaporação e da demanda por irrigação, a Lagoa Mangueira alimenta o banhado do Taim, ocorrendo fluxo no sentido inverso dependendo das condições de vento e das respectivas cotas de nível da água;

(iii) Sistema do banhado do Taim: além do intercâmbio de água com a Lagoa Mangueira e do canal que une à Lagoa das Flores, há uma ligação do banhado com a lagoa Mirim por meio de um canal, interrompido pelo aterro da rodovia BR-471 e que apresenta um sistema de comportas e uma casa de bombas abandonados.

A manutenção dos níveis de água dentro do banhado do Taim são determinados por uma série de fatores, dentre os quais podemos citar:

- Precipitação sobre a bacia contribuinte
- Evapotranspiração
- Capacidade de escoamento dos canais
- Capacidade de armazenamento das lagoas e das áreas limítrofes
- Características do escoamento dos conjuntos de condutos
- Níveis da Lagoa Mirim
- Retirada de água para irrigação

Outra questão diz respeito à operação e gerenciamento das comportas de saída do banhado, onde há interesses conflitantes (Villanueva, 1997): o fechamento completo da saída é de interesse para a irrigação, uma vez que aumenta a disponibilidade de água; por outro lado, isso prejudica a flutuação natural dos níveis de água, condição necessária para a preservação ambiental do ecossistema. O referido autor simulou o comportamento do banhado do Taim em diferentes cenários utilizando-se de um modelo matemático, buscando uma melhor condição para a conservação do ecossistema. Da análise dos diversos cenários simulados que apresentavam diferentes combinações das estruturas de saída do banhado para a lagoa Mirim e a retirada de água para irrigação, foi possível verificar como as diferentes alternativas modificaram o regime hidrológico (hidroperíodo) do banhado e selecionar aquelas que melhor conservam as características atuais. Em tal estudo concluiu-se que o sistema não tem condições de atender a demanda atual para irrigação, sendo recomendada uma nova estrutura de saída, associada a regras de limitação da extração de água para agricultura, de modo a contemplar tanto o interesse de preservação quanto o de tal atividade.

Sendo, portanto, a Estação Ecológica do Taim um compartimento que não abrange a totalidade da bacia hidrográfica que influencia os níveis de água do banhado e da vizinhança, ações externas ao banhado como, por exemplo, a retirada de água para irrigação, interferem diretamente na quantidade de água e na conservação das condições ambientais. Da mesma forma, qualquer ação sobre o sistema de comportas na saída do banhado pode afetar as propriedades fora da Estação Ecológica do Taim (ESEC-Taim) (Tucci, 1996; Motta Marques et al, 2001).

Uma análise do comportamento do banhado indicou que um nível adequado tem como referência as bordas das lagoas internas do banhado (Tucci 1996; Motta Marques et al, 2001). No estado natural, os níveis das lagoas flutuam em torno dessa referência, sazonalmente e entre períodos de anos secos e úmidos. A manutenção do ecossistema requer uma flutuação de níveis que garantam o ciclo das espécies vegetais terrestres e aquáticas e as funções do sistema.

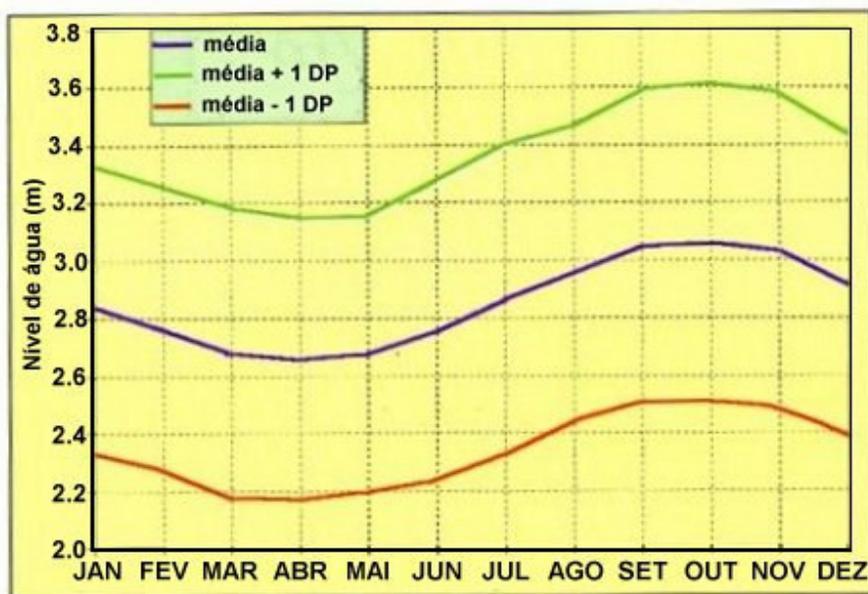


Figura 2.6 – Hidroperíodo potencial do banhado do TAIM. Fonte: MOTTA MARQUES e VILLANUEVA 2001.

Segundo Tucci (1996), o Sistema Hidrológico do Taim estaria dividido ainda em dois compartimentos distintos que teriam como ponto de confluência a área das comportas de drenagem que escoam para Mirim atravessando a estrada, próximo a sede do IBAMA. O compartimento norte seria constituído pelas lagoas Caiubá, Flores e seus banhados adjacentes. O compartimento sul seria representado pela Lagoa Mangueira e pelo sistema de banhados e lagoas adjacentes, entre eles o banhado do Taim.

Tucci (1996) cita ainda que a hidrologia desta região carece de uma rede de drenagem bem definida em virtude de sua evolução geológica, fato que se traduz em uma geografia caracterizada pela existência de uma vasta quantidade de banhados e lagoas.

Os avanços e recuos da lâmina d'água (figura 2.7) formam, onde o relevo é mais alto, zonas de transição que se caracterizam fundamentalmente por períodos de solo exposto e seco e períodos, especialmente na estação fria, não só solos saturados mas também cobertos pela lâmina d'água. Estas variações, e como conseqüência, as características genéricas do ambiente

acabam por determinar o comportamento de ocupação de espaço pelas macrófitas aquáticas. O hidroperíodo, portanto, determina uma cobertura vegetal bastante peculiar.



Figura 2.7 – Variação da lâmina d'água no Banhado do Taim. (a) mar/1997; (b) ago/2000.

2.2.7. Formação Vegetal

É possível verificar diversos tipos de ambientes diferenciados na ESEC Taim e em seu entorno. A vegetação acaba por definir-se de acordo com o tipo de ambiente em que se encontram e o quanto são diferenciados entre si.

Motta Marques et al (2002) colocam que a variação do regime hídrico do banhado pode influenciar as espécies de macrófitas presentes no ambiente, determinando não só sua ausência/presença como também sua distribuição.

Macrófitas aquáticas possuem uma alta plasticidade fisiológica, morfológica e fenológica em relação as flutuações do regime hídrico. Estas respostas são consideradas como estratégias ecológicas adaptativas e variam

conforme os gradientes ambientais. As diferentes espécies vegetais ostentam diferentes estratégias adaptativas e, portanto, diferentes potenciais no que se refere ao estabelecimento, sobrevivência, crescimento e reprodução em condições variáveis. Desta forma, um dado regime hídrico induz diferentes respostas nas diferentes comunidades vegetais presentes no ecossistema. (Margalef, 1983)

As comunidades vegetais ocorrentes na ESEC Taim podem ser enquadradas como mata, campo, vegetação de banhado, vegetação aquática e vegetação de dunas.

Quanto a vegetação de Mata, é possível observar no banhado do Taim os seguintes tipos (Porto e Dillenburg 1983),

- Mata de Restinga: desenvolve-se em solo predominantemente arenoso e caracteriza-se pela presença de cactáceas, figueiras (*Ficus sp*) e epífitos.
- Mata Paludosa: encontrada em solos ricos em matéria orgânica e saturados de água na maior parte do ano. Predominam as figueiras (*Ficus sp*) e as corticeiras (*Erythrina*) sendo abundantes os epífitos. Uma grande variedade de macrófitas se fazem presentes, em especial a *Zizaniopsis bonariensis*.

Árvores de grande porte como *Ficus organensis* são encontradas nas regiões de mata, seguidas por espécies de menor porte como *Rapanea umbelata*, *Sebastiania brasiliensis*, *Casearia silvestris*. Destacam-se também gramíneas características deste tipo de mata como *Oplismenus setarius* e *Pseudoechinolaena polystachya*, além de orchidáceas e bromeliáceas.

Na região de dunas pode estar ausente a cobertura vegetal ou apresentar espécies halófilas, sendo freqüentes *Blutaparon portulacoides*, *Hydrocotyle bonariensis* e *Paspalum vaginatum*, entre outras. Nas baixadas úmidas entre as dunas desenvolve-se uma vegetação de transição entre os ambientes aquático e terrestre, onde aparecem plantas como *Drosera*

brevifolia, *Utricularia tricolor*, *Androtrichum trigynum*, *Lycopodium alopecuroides*, entre outras (BDT 2000).

Os campos litorâneos compõem um mosaico com os banhados e matas, sendo formados por inúmeras espécies de gramíneas, leguminosas e ciperáceas, estas últimas principalmente nas áreas inundáveis.

As características topográficas suaves da região associadas a presença de corpos hídricos e banhados, propiciam um ambiente adequado ao desenvolvimento de uma vegetação característica, adaptada a condições de saturação do solo (anfíbia e hidrófila).

Dentre as terras úmidas, os banhados se destacam pela sua alta diversidade de macrófitas e alta produtividade. Na área em questão, espécies hidrófilas como a *Scirpus californicus* e *Zizaniopsis bonariensis* são predominantes.

Um levantamento abrangendo os vários grupos fisionômicos encontrados no Taim indicou a ocorrência de 128 espécies de macrófitas aquáticas com a ocorrência de 49 espécies de macrófitas emergentes e flutuantes, distribuídas em 28 famílias. Destacam-se as espécies *Salvinia herzogii*, *Azolla caroliniana*, *Lemna valdiviana*, *Pistia stratiotes*, *Scirpus californicus*, *Zizaniopsis bonariensis* e *Scirpus giganteus* (Motta Marques & Irgang, 1996)

Macrófitas podem ser classificados de acordo com o espaço que ocupam dentro da coluna d'água (submersas, flutuantes e emergentes) sendo sua distribuição determinada pela profundidade da coluna, forma das lagoas e direção do vento. Motta Marques & Irgang (1996) citam que em condições de nível d'água elevados por longos períodos, em função do represamento do fluxo de saída do banhado, as espécies flutuantes dominam, formando uma enorme biomassa que pode ser exportada (retidas regularmente na estrutura de comportas de saída do sistema).

2.3. O material particulado (seston) e dissolvido

O seston, ou a matéria particulada em suspensão na coluna d'água é convencionalmente considerado como sendo o material que é retido por filtração usando-se membrana filtrante de determinada porosidade (Riley, 1970; Parsons, 1975 in McCusker et al 1999). Também é definido como todo o material particulado, orgânico ou inorgânico, que se encontra suspenso dentro da coluna d'água. Do ponto de vista ecológico, o seston é uma importante fonte de energia dentro do ecossistema aquático. No que se refere a sua composição, consiste de um agrupamento heterogêneo de elementos do bacterioplâncton, fitoplâncton, zooplâncton e detritos orgânicos e inorgânicos (Wen, 1992). O seston apresenta uma variação considerável referente a sua distribuição no tamanho, composição e potencial nutricional e distribuição sazonal. (Riley, 1970; Roman & Rublee, 1981; Nicolajsen et al, 1983; Mayzaud et al., 1984; Mann, 1988 in Grange & Allanson, 1995).

A matéria orgânica particulada do seston consiste de material de origem autóctone e alóctone e reflete a biogeoquímica do ambiente aquático. Como integra efeitos da química do corpo d'água, apresenta uma importância fundamental para o monitoramento ambiental de recursos hídricos (Dábakk et al 1999), além de funcionar como um compartimento dinâmico de matéria orgânica e energia em ambientes aquáticos.

Quase todo o carbono orgânico do meio aquático está nas formas de carbono orgânico dissolvido (DOC – dissolved organic carbon) e carbono orgânico particulado (POC – particulate organic carbon) provenientes da decomposição de organismos mortos. A razão DOC para POC está muitas vezes próxima de 6:1 e pode alcançar até 10:1 tanto em sistemas lóticos como lênticos (Wetzel e Rich, 1973).

O DOC e o POC dos detritos ultrapassam muitas vezes a quantidade de carbono orgânico da matéria viva sob a forma de bactérias, plâncton, flora e fauna.

Tanto as fontes alóctones como as autóctones de matéria orgânica particulada e dissolvida são fundamentais como entradas variáveis de detritos para sistemas aquáticos. São fontes autóctones (1) detritos derivados da decomposição de macrófitas e microflora a elas associada e (2) produtores primários, principalmente algas do fitoplâncton. As fontes alóctones de matéria orgânica para os sistemas aquáticos são principalmente de origem vegetal terrestre. O carbono orgânico dos resíduos vegetais sofre transformações devidas à utilização animal e a degradação microbiana e química ao mesmo tempo em que é transportado nas águas de fluem para o corpo hídrico. Grande parte da matéria orgânica terrestre que chega ao ambiente aquático está na forma dissolvida e provém da lixiviação direta da vegetação viva e da matéria vegetal morta que se encontra em vários estágios de decomposição.

A DOM (dissolved organic matter) proveniente do escoamento superficial é constituída por compostos orgânicos relativamente refratários, resistentes a degradação microbiana. As quantidades de DOC e POC que chegam a um lago e a composição química destes variam sazonalmente com o volume do fluxo em relação ao tempo no curso de água, com os ciclos de desenvolvimento e senescência da vegetação associada e com outros fatores, nomeadamente as alterações climáticas (Wetzel 1993).

As entradas alóctones de matéria orgânica terrestre são de suma importância, pois formam em conjunto, uma das principais fontes de matéria e energia dos ecossistemas em determinados corpos hídricos (Wen, 1992)

A dinâmica da estrutura trófica dos ecossistemas aquáticos depende da dinâmica da estrutura dos detritos (figura 2.8). Do ponto de vista de fluxos de carbono, a maior parte da energia deriva do carbono orgânico de origem autotrófica que sofre degradação microbiana, sendo variáveis as taxas em que este processo ocorre, diminuindo drasticamente a medida em que esta torna-se em sua forma mais refratária e dissolvida.

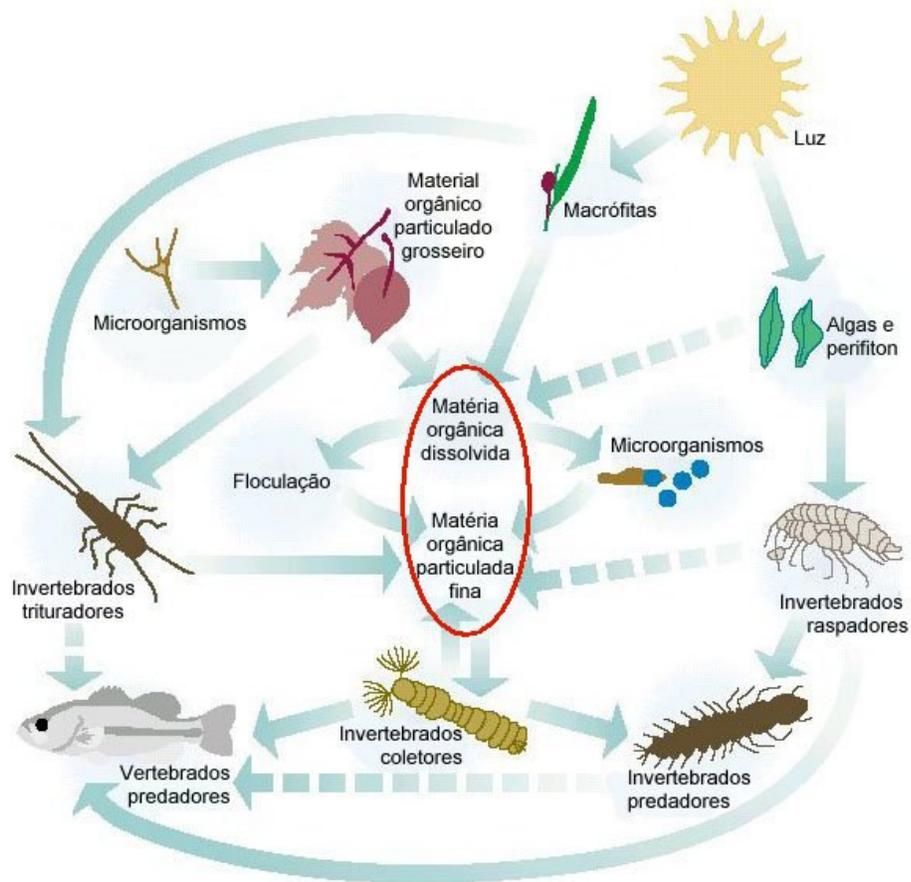


Figura 2.8 – Importância do compartimento representado pela matéria dissolvida e particulada (seston) dentro do ecossistema aquático. FONTE: Adaptado de USDA (1998).

Segundo Wetzel (1993) a estrutura trófica acima do nível produtores e decompositores, com todas as suas complexidades devidas a flutuações das populações, metabolismo e comportamento, tem um impacto relativamente pequeno sobre o fluxo do carbono total no sistema. São os detritos, em todas as suas formas, que conferem estabilidade aos cursos d'água. A produção primária autóctone é por vezes pouco importante e variável, mas, conjuntamente com os detritos alóctones autotróficamente gerados, governa o sistema aquático.

A matéria orgânica da água pode ser encarada como uma mistura de produtos animais e vegetais em diferentes estados de decomposição; é constituída por compostos resultantes da síntese biológica e química realizada a partir dos produtos de degradação. Wetzel (1993) simplifica este complexo

sistema dividindo a matéria orgânica em duas categorias: substâncias húmicas e não húmicas

Substâncias não húmicas constituem uma classe de compostos da qual fazem parte os açúcares (glicídios), proteínas, aminoácidos, lipídios, ceras, resinas, pigmentos e outras substâncias orgânicas de baixo peso molecular. Estes compostos são geralmente instáveis, ou seja, de fácil utilização e degradação por microorganismos, ciclando a velocidades elevadas. As substâncias húmicas são os constituintes da maior parte da matéria orgânica do solo e da água. São compostos ácidos, de alto peso molecular resultantes da atividade microbiana sobre a matéria vegetal e animal. Estes compostos são relativamente resistentes à mineralização microbiana posterior, tendendo a persistir nos sistemas aquáticos. Klap et al (1996) trabalhando com banhados salinos conclui que ao longo do ano identifica-se que uma fração significativa do seston corresponde a estes compostos orgânicos refratários.

Cabe salientar ainda que a matéria orgânica particulada fornece um evidente substrato para processos bacteriológicos. A alteração de detritos por ação de bactérias é um passo fundamental para a transferência de energia para níveis tróficos mais altos. De fato, bactérias podem utilizar a matéria orgânica em suspensão para seu crescimento, mas ao mesmo tempo também convertem detritos orgânicos refratários em biomassa bacteriana, desta forma aumentando a qualidade alimentar da matéria orgânica particulada. (Abreu *et al.*, 1992 apud Danovaro e Fabiano, 1997).

Em banhados, a matéria orgânica produzida por processos autotróficos, pode ter uma série de destinos, desde a pastagem por herbívoros até a oxidação a carbono inorgânico. Mas, é a deposição no sedimento e a cadeia de detritos o destino de grande parte desta produção, que pode ainda ser exportada para outros ecossistemas. As proporções da matéria orgânica que são dirigidas a cada um destes caminhos são bastante diferenciadas para cada tipo de banhado (Westlake et al 1998).

2.3.1. Fatores determinantes do seston e do material dissolvido.

Vários fatores afetam diretamente a qualidade e a quantidade de material particulado e dissolvido. Em banhados, o regime hídrico, a vegetação e os ciclos sazonais são fatores determinantes da dinâmica do seston e da matéria orgânica.

Wen (1992) trabalhando em lagos, concluiu que o período de cheias e estiagem, associado a fatores abióticos (descarga, escoamento superficial) e bióticos (produtividade) explicam a grande parte das alterações e flutuações da dinâmica e da concentração do seston na coluna d'água.

2.3.1.1. Regime hídrico

O regime hídrico pode ser caracterizado pelo hidroperíodo de um banhado, que corresponde a ocorrência periódica ou regular de inundação ou condições de solo saturado, definindo uma assinatura hidrológica de terras úmidas (frequência, duração) a qual depende do balanço hídrico, da topografia e das condições sub-superficiais. Essa assinatura hidrológica relaciona-se com as funções existentes nestes ecossistemas. As funções de banhado podem ser modificadas por alterações desse hidroperíodo, levando a mudanças significativas, tais como, riqueza de espécies, alteração de padrões de comunidades, produtividade e habitat. As alterações do hidroperíodo, por sua vez, podem ser atribuídas tanto a eventos naturais como à ação antrópica. (Motta Marques *et al.* 2002).

Vários fatores determinam alterações do hidroperíodo de um banhado como (1) precipitação sobre a bacia contribuinte, (2) evapotranspiração e evaporação associada a cobertura vegetal, (3) água de escoamento superficial, (4) capacidade de armazenamento das áreas limítrofes e adjacentes, (5) características do escoamento dos sistemas de saída, (6) ações antrópicas (retirada de água para irrigação) e (7) relação com águas subterrâneas.

Como em qualquer outro tipo de terra úmida, o regime hídrico é um fator determinante de suas características básicas. Afeta fatores como saturação e anaerobiose do solo (a camada de água dificulta a difusão de O₂) e a disponibilidade de nutrientes que por sua vez determinam a flora e a fauna que irá se desenvolver (Giovanini 2001) Com relação ao seston, influencia de maneira significativa sua quantidade e a qualidade, seja pela diluição promovida pela precipitação e pelo aporte de água de sistemas adjacentes ou pelo acréscimo de material suspenso e dissolvido carregado pelo escoamento superficial de terras mais altas.

2.3.1.2. Cobertura Vegetal – Vegetação associada e macrófitas

A presença ou ausência de água afeta profundamente aspectos físicos e químicos do ambiente, os quais por sua vez induzem respostas dos componentes biológicos do ecossistema. Estes componentes biológicos, por sua vez influenciam as condições hidrológicas do sistema principalmente por meio da vegetação que remove sedimentos, reduz erosão, controla o fluxo de água, acumula matéria orgânica e, através da decomposição de seus tecidos, promove a formação de detritos (figura 2.9).

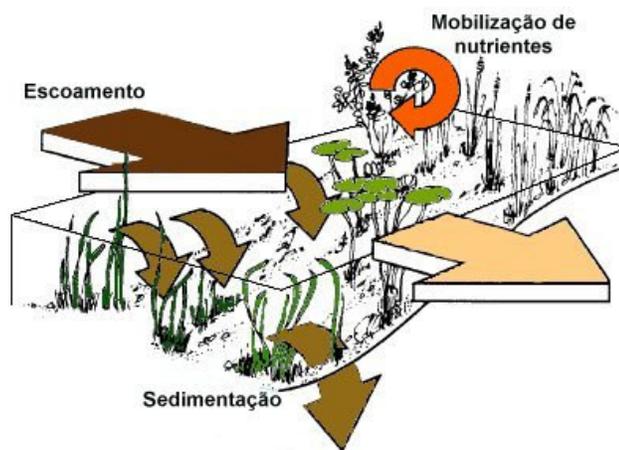


Figura 2.9 – Influência da vegetação nos processos hidrológicos (Fonte: adaptado de EPA, 1992).

À formação vegetal associada a um determinado corpo hídrico dá-se o nome de vegetação riparia ou ribeirinha. Em banhados, a vegetação é um

componente característico deste ecossistema e tem papel decisivo na dinâmica de nutrientes e matéria orgânica.

Estudos deste tipo de vegetação estão centralizados na sua importância como controlador de certos parâmetros hidrológicos de dado corpo hídrico. As zonas ripárias funcionam como reguladoras do fluxo d'água e sedimentos (matéria orgânica e inorgânica dissolvida ou particulada, nutrientes) oriundos de áreas mais altas da bacia na qual está inserido o sistema aquático, atuando como uma espécie de filtro.(Corbett & Lynch, 1985)

Tabacchi et al., (2000) colocam que os principais impactos da vegetação ribeirinha nos processos hidrológicos são: controle do escoamento (run off) pelo impacto físico das plantas vivas e mortas sobre a hidráulica; a fisiologia das plantas no consumo, no armazenamento e no retorno de água para a atmosfera; atuação sobre a qualidade da água pela retenção de matéria e nutrientes

Segundo Steinbluns et al., (1984) a vegetação ribeirinha desempenha sua função hidrológica através das seguintes formas (a) estabilização das ribanceiras de cursos d'água; (b) como tampão e filtro entre os terrenos mais altos e o ecossistema aquático através da ação tanto sobre o escoamento superficial quanto subsuperficial na absorção de nutrientes pela vegetação (c) pela contenção do escoamento superficial, impedindo ou dificultando o carreamento de sedimentos para o sistema aquático, contribuindo para a manutenção da qualidade da água nas bacias hidrográficas; (d) pela sua integração com a superfície da água, proporcionando cobertura e alimentos para peixes e outros componentes da fauna aquática; (e) pela mesma razão, interceptando e absorvendo radiação solar, assim contribuindo para a estabilidade térmica de pequenos cursos d'água.

A vegetação ripária apresenta uma série de funções relacionadas ao fluxo de água e nutrientes em sistemas lênticos. Estendendo este conhecimento para o estudo de banhados, podem ser atribuídas as seguintes funções a zona ripária: (1) contenção de sedimentos e demais materiais do

fluxo d'água e escoamento (2) fonte de solo, matéria orgânica e nutrientes proveniente da decomposição da biomassa (Forman, 1995 apud USDA, 1998).

A vegetação ripária pode ser vista então como uma barreira que controla o fluxo de energia, materiais e organismos. Em muitos casos servem como um filtro que reduz a poluição e o transporte de sedimentos. O transporte de materiais a partir de sistemas adjacentes é interceptado e filtrado por esta formação vegetal. Atributos como a estrutura da comunidade podem afetar fisicamente a intensidade do escoamento superficial através da absorção ou interrupção da água além do grau de retenção de sedimento e nutrientes (USDA, 1998).

A produção primária de macrófitas aquáticos em banhados é uma das mais elevadas em ecossistemas, variando de 1000 a 6000 g m² /ano (Mitsch & Gosselink, 1986). O material oriundo da degradação desta formação vegetal, portanto, influencia profundamente os teores de matéria orgânica suspensa e dissolvida.

2.3.1.3. Variações climáticas

Como em qualquer ecossistema, os fatores climáticos têm um papel decisivo na dinâmica de banhados, principalmente no que diz respeito ao compartimento da matéria orgânica.

O regime de ventos age sobre a direção de correntes, re-suspensão e deposição de sedimentos, alterações na turbidez e nas trocas gasosas do meio aquático com a atmosfera; a radiação solar e a formação de nuvens afetam a taxa de crescimento dos organismos produtores (fotossíntese); a temperatura determina a velocidade das reações físico-químicas e bioquímicas (alteração da atividade biológica) além de aumentar a volatilização de certas substâncias e evapotranspiração; a precipitação (escoamento superficial) promove o aporte de matéria para o meio aquático e altera o balanço hídrico.

3.OBJETIVOS

Gerais:

Gerar conhecimentos sobre a dinâmica da matéria orgânica em banhados.

Específico:

Contribuir para a definição dos padrões sazonais de exportação de matéria particulada (seston), dissolvida e nutrientes do Sistema Hidrológico do Taim para Lagoa Mirim.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Delineamento amostral e tratamento das amostras

O perfil do material transportado do Banhado do Taim para a Lagoa Mirim foi caracterizado pela integração de uma série de variáveis químicas, físicas e biológicas. A amostragem foi efetuada a jusante do único ponto de saída do Sistema Hidrológico do Taim – as comportas construídas para controle dos antigos canais de drenagem, hoje desativados, localizadas ao norte do sistema (figura 4.1). Foram realizadas coletas em intervalos quinzenais (março a dezembro de 2002) e coletas mensais (janeiro a dezembro de 2002) (tabela 4.1). Nas coletas mensais foram realizados perfis de doze e seis amostras diárias tomadas ao longo de 24 horas. Foi realizado um total de 12 campanhas mensais e 20 campanhas quinzenais.



Figura 4.1 - Comportas de drenagem e localização no Sistema Hidrológico do Taim.

4.1.1. Amostragem quinzenal

As coletas quinzenais foram feitas em duplicatas, usando-se garrafa de Van Dorn entre horários que variavam das 14:00 as 17:00. Estas amostras foram imediatamente conservadas em uma bolsa térmica para que em até 24 horas fossem conduzidas para laboratório onde eram mantidas sob refrigeração.

Duas sub-amostras de 0,5 L foram pré-filtradas a vácuo com filtros de fibra de vidro Whatman GF/F de 47 mm de diâmetro. Estes filtros foram acondicionados após a filtração em ambiente seco, frio e protegidos da luz para posterior análise de pigmentos (clorofila a) (CETESB 1993, APHA 1992). Ao longo deste processo evitava-se da luz direta incidente. A porção restante de água passava então por uma nova filtração em membranas de acetato de celulose com porosidade controlada de 0,45 µm e levada ao gelo. A intenção desta segunda filtração foi preparar a amostra para ela contivesse apenas a porção diluída de matéria para posterior análise química. Os filtros foram desprezados.

Duas sub-amostras de 1 litro foram conservadas em gelo para análises químicas e quantificação total (porções diluída e particulada) da demanda química de oxigênio e do fósforo total.

Outras duas sub-amostras restantes foram utilizadas para quantificação de sólidos totais (fixos e voláteis), particulados e dissolvidos.

4.1.1.1. Variáveis analisadas

- Estação Meteorológica – precipitação, velocidade do vento.
- Linígrafo – nível d'água.
- Físico-químicas – demanda química de oxigênio; fósforo total; sólidos totais (fixos e voláteis), particulados e dissolvidos.
- Biológicas – clorofila a.

4.1.2. Campanha mensal e perfil diário

As coletas mensais tiveram por objetivo, além de detectar variações sazonais, verificar as amplitudes das variações de curta duração que podem ocorrer ao longo de um dia, em resposta à variações climáticas momentâneas. Para esta coleta recorreu-se ao uso de sonda YSI 6920 (Yellow Spring Instruments) e auto-amostradores ISCO® (figura 4.2) estes últimos constituídos basicamente por uma bomba de sucção e um pequeno computador programado para uma coleta automática de até doze amostras, com volume e intervalo determinados. Foram utilizados três amostradores que coletaram, cada um, 500 ml de amostra a cada duas horas, perfazendo um total de 12 amostras em 24 horas. Cada conjunto amostral foi destinado respectivamente para a) quantificação de material total, b) quantificação de componentes dissolvidos c) análise de sólidos. Para esta última variável, o intervalo entre cada sub-amostra foi estendido para 4 horas, tendo em vista a demanda por recursos do método analítico. O tratamento e conservação das amostras seguiu o mesmo procedimento da amostragem quinzenal.



Figura 4.2 - Autoamostradores ISCO®, Sonda Yelow Spring® e estação de dados meteorológicos.

4.1.2.1. Variáveis analisadas

- Sonda YSI – potencial hidrogeniônico, condutividade, temperatura, potencial de oxido-redução e porcentagem de saturação de oxigênio.

- Estação Meteorológica – precipitação, velocidade do vento.
- Linígrafo – nível d'água
- Físico-químicas – demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, fósforo total, sólidos totais (fixos e voláteis), particulados e dissolvidos.

Tabela 4.1 - datas das campanhas quinzenais e mensais.

	Campanha Quinzenal (dia)	Campanha mensal (dia)
Dezembro/01	- 19	18
Janeiro/02	- 30	29
Fevereiro/02	- 20	19
Março/02	08 21	19
Abril/02	09 24	23
Maio/02	10 22	21
Junho/02	06 20	18
Julho/02	11 24	23
Agosto/02	13 -	20
Setembro/02	03 18	17
Outubro/02	10 30	29
Novembro/02	11 20	19
Dezembro/02	02 18	17

4.2. Metodologias para as variáveis Físico-químicas e Biológicas

4.2.1. Nutrientes

4.2.1.1. Fósforo total

A concentração de fósforo total foi determinada pelo método de digestão com persulfato de potássio e posterior mensuração do fosfato resultante pelo método colorimétrico do ácido ascórbico (MACKERETH et al,1989).

4.2.1.2. Nitrogênio

Este método de análise de nitrogênio foi utilizado por detectar baixas concentrações deste nutriente. Baseia-se na oxidação de compostos nitrogenados por aquecimento com persulfato de potássio seguindo a redução do nitrato a nitrito com cádmio (reductor). O nitrito em condições ácidas provoca a diazotação da sulfanilamida e o produto é acoplado ao N-1-Naftil etilenodiamina para formar um composto que é medido colorimetricamente (MACKERETH et al, 1989)

4.2.2. Demanda química de oxigênio

A demanda química de oxigênio mede, indiretamente através do consumo de oxigênio, a matéria orgânica presente na amostra suscetível a oxidação quando esta é exposta a um oxidante químico forte. Foi utilizado o método da MERCK 132, onde a amostra é oxidada mediante o aquecimento por duas horas com dicromato e ácido sulfúrico. O método é colorimétrico, e foi feito uso de reagentes fornecidos pela MERCK e do espectrofotômetro SQ 118, da mesma empresa. A quantidade de matéria orgânica consumida é então calculada pelo próprio instrumento em termos de oxigênio equivalente e é dada em mg/L.

4.2.3. Sólidos totais, dissolvidos e suspensos.

Segundo APHA (1992), o termo sólidos totais refere-se à matéria orgânica (algas, bactérias, detritos) e inorgânica (sílica, argilas) suspensa e dissolvida na coluna d'água. Sólidos totais estão intimamente relacionados ao transporte de nutrientes entre ecossistemas aquáticos, daí a importância de se

estimar suas quantidades para a caracterização do material exportado do Sistema Hidrológico do Taim via comporta de drenagem.

Os testes para determinação das diversas formas de sólidos são de natureza empírica e não determinam substâncias específicas. Sólidos totais (ST) são quantificados pelo material restante de uma amostra d'água após evaporação e secagem. A porção suspensa (SST – sólido suspensos totais) é estimada pela porção retida em filtro. A fração dissolvida (SDT) é obtida pela subtração $ST - SST$.

4.2.3.1. Sólidos totais (APHA, 1992)

Um volume de 100 mL foi transferido para uma cápsula de evaporação tarada e seca em estufa à temperatura de $103^{\circ} - 105^{\circ} C$. Seguiram-se sucessivas pesagens desta cápsula até que o valor passasse a ser constante. O aumento de massa em relação a cápsula vazia correspondeu ao valor de ST. A porção orgânica ainda foi estimada expondo esta cápsula a uma temperatura de 550° e seguindo nova pesagem. A diferença entre o ST e este valor final foi considerada como a porção orgânica – sólidos totais voláteis (STV).

4.2.3.2. Sólidos suspensos totais (APHA, 1992)

Um volume de 200 mL foi filtrado a vácuo por filtros de fibra de vidro Wathman, previamente tarados, e o material retido foi seco em estufa à temperatura de $103^{\circ} - 105^{\circ} C$. O ganho de massa em relação ao peso da membrana antes da filtração representou os sólidos suspensos totais. A porção orgânica dos sólidos suspensos (SSV) foi determinada da mesma forma descrita em sólidos totais.

4.2.3.3. Sólidos dissolvidos:

Valores obtidos pela diferença entre Sólidos totais e Sólidos suspensos totais.

4.2.4. Carbono Orgânico Total

A concentração de carbono orgânico total (TOC) em solução foi medida por um analisador de TOC Shimadzu®. O processo consiste da combustão catalítica seguida a detecção por infravermelho do CO₂ gerado. A concentração do carbono orgânico é dada pela diferença entre carbono total e carbono inorgânico.

$$\text{C-orgânico} = \text{C-total} - \text{C-inorgânico}.$$

4.2.5. Extração de pigmentos

Sendo o fitoplâncton um importante componente do seston, sua estimativa por meio da quantificação de pigmentos é uma ferramenta para a caracterização do material exportado pelo banhado do Taim.

A metodologia usada para coleta, filtração e extração de pigmentos seguiu as recomendações de CETESB (1993) e APHA (1992). Para cada amostra uma alíquota de 250 – 500 ml foi filtrada a vácuo em filtros de fibra de vidro (Ahlstrom, 47mm de diâmetro e 0,7 µm de porosidade) e imediatamente mantido congelado, seco e protegido da luz até o momento da extração, com acetona 90%, para seguir para as determinações espectrofotométricas. As concentrações de clorofila *abc* foram então obtidas seguindo as equações tricromáticas estabelecidas em CETESB (1993) e APHA (1992):

$$\text{Clorofila (a)} (\mu\text{g/L}) = C_{(a)} \times v / V \times L$$

v- Volume em mL da acetona

V- Volume em L da amostra filtrada

L- caminho ótico da cubeta (cm).

D664, D647 e D630 – densidades ópticas

$$C_a = 11,85 \times D664 - 1,54 \times D647 - 0,08 \times D630$$

4.3. Variáveis Hidrometeorológicas

Para a coleta contínua de dados climáticos e de nível foram utilizadas torres de observação e réguas implantadas ao longo do Sistema Hidrológico do Taim (um total de oito distribuídas no sistema banhado - Lagoas Flores, Mangueira, Nicola, Jacaré, Arroio Negreiros, Canal Sarita, e uma no canal de saída do sistema – comporta a jusante da BR 470). Os equipamentos de coletas de dados (linígrafos, sensores de temperatura, coletor de dados e estação meteorológica – esta última somente na Lagoa Mangueira e Arroio Negreiros) vem sendo alimentados por baterias e painéis solares.

4.4. Tratamento dos dados

4.4.1. Medidas de tendência central, dispersão e distribuição do conjunto de dados

Para se analisar a distribuição temporal das variáveis ambientais medidas na comporta de drenagem do banhado do Taim foram calculados parâmetros estatísticos univariados: média aritmética (média) e desvio padrão (DP) dos dados. Como o cálculo da média e do desvio são visualizados de acordo com a amplitude da variável que está sendo observada, calcularam-se também os coeficientes de variação (CV) de cada conjunto de dados. O coeficiente de variação corresponde à razão entre o desvio padrão e a média e permite comparar variáveis de diferentes escalas além de avaliar a forma de distribuição dos dados e revelar a ocorrência de valores muito distantes da média quando seu cálculo ultrapassa ou se aproxima de 1 (ou 100%).

A distribuição paramétrica (ou distribuição normal) dos dados é uma exigência para uma série de análises estatísticas. Neste sentido, todos os conjuntos tiveram sua normalidade testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnoff.

4.4.2. Análises de correlação, ordenação e regressão.

Foram empregadas análises de correlação entre as variáveis estudadas buscando-se evidenciar possíveis relações de causa e efeito entre estas, análise de ordenação pelo software Multiv ® (Pillar, 2001) e regressão linear múltipla para a construção de modelos.

Designa-se ordenação qualquer processo que forneça um pequeno número de variáveis que descrevam as relações entre objetos, a partir de medidas tomadas destes objetos (Pielou 1984). Este processo pode ser feito a partir das próprias medidas ou de uma matriz de distâncias ou similaridades entre os objetos. O objetivo da ordenação é reduzir um grande número de medidas em poucas variáveis sintéticas, facilitando a identificação de padrões. Na maioria das técnicas de ordenação, estas variáveis, também denominadas eixos ou componentes, são combinações lineares das medidas originais. A participação de cada medida em um dado eixo também pode ser medida pelo seu “peso”, que é a sua correlação com o eixo.

A análise de componentes principais (PCA) é indicada para conjuntos de medidas correlacionadas linearmente, que assim pode ser reduzidas a poucas variáveis sintéticas (componentes principais). Os coeficientes dos eixos são calculados pelos autovetores da matriz de covariâncias ou de correlações entre as medidas (Pielou, 1984). O resultado, como assinalado anteriormente, são combinações lineares das medidas originais, denominadas componentes, extraídas de modo que a primeira delas explique a maior parte da variância, a segunda delas explique a maior parte da variância que não esteja correlacionada com a primeira, e assim por diante. Quanto maior a correlação entre as medidas, maior será a parcela de variação explicada pelos primeiros eixos. Os coeficientes das variáveis ou seus pesos são usados para interpretar os eixos. As variáveis mais importantes são as de maiores pesos, negativos ou positivos. O sinal dos pesos indica se a correlação entre as medidas representadas pelo eixo é positiva ou negativa.

Quando a maior parte da variação é explicada por poucos componentes (idealmente os dois primeiros), os objetos podem ser representados como pontos em um espaço cartesiano, cujos eixos são os componentes, e as

coordenadas são os escores. Nestes casos é possível visualizar as relações multivariadas entre os objetos em um espaço de poucas dimensões, sem perda importante de informação.

Por regressão linear múltipla é possível criar modelos estatísticos, tanto para mostrar funcionalidade como para estimar valores. Segundo Nelder & Wedderburn (1972), a grande maioria dos fenômenos de causa e efeito podem ser modelados por análises de regressão. Esses modelos envolvem uma variável resposta univariada e variáveis explicativas ligadas através de uma função.

Assim, admitindo-se uma combinação satisfatória da distribuição da variável resposta e da função de ligação, o objetivo é determinar quantos termos são necessários na estrutura linear para uma descrição razoável dos dados. Um número grande de variáveis explanatórias (ou covariáveis) pode levar a um modelo que explique bem os dados, mas com um aumento de complexidade na interpretação. Por outro lado, um número pequeno de variáveis explanatórias (ou covariáveis) pode levar a um modelo de interpretação fácil, porém, que se ajuste pobremente aos dados. O que se deseja na realidade é um modelo intermediário.

No presente estudo, um modelo de regressão múltipla foi ajustado aos dados, testados para normalidade e homogeneidade de variância. As variáveis resposta descrevem as diferentes formas do material exportado pelas comportas de drenagem (DQO, TOC, Sólidos) enquanto que as variáveis hidrometeorológicas analisadas (nível de água, precipitação, vento e temperatura) foram definidas como variáveis explicativas.

5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os dados apresentados resumem as amostragens realizadas entre dezembro de 2001 e dezembro de 2002, nas comportas de drenagem do banhado do Taim. Foram duas campanhas em paralelo, uma mensal e outra quinzenal, que ao longo de um ano visaram caracterizar o perfil do material exportado do banhado. Variações climáticas sazonais, representadas pela temperatura, precipitação e ventos seriam os principais fatores que determinariam as flutuações das variáveis físico-químico-biológicas analisadas.

5.1. Descrição das variáveis

5.1.1. Variáveis Hidrometeorológicas

5.1.1.1. Precipitação

A precipitação sobre determinado corpo d'água e sua respectiva bacia de drenagem é de fundamental relevância para a definição de uma série de parâmetros limnológicos. Esta pode agir sobre o ambiente aquático de duas maneiras: a) redução por diluição da concentração de materiais particulados e dissolvidos; b) como fator gerador de material particulado e dissolvido, que seriam carregados pelo escoamento superficial e sub-superficial (USDA, 1998). Os dados de precipitação mensal sobre o Sistema Hidrológico do Taim foram obtidos junto a uma das estações meteorológicas do projeto, localizada no Arroio Negreiros, dentro da Estação Ecológica do Taim. Com intuito comparativo, buscou-se junto ao 8º Distrito de Meteorologia os dados de precipitação mensal referentes à cidade de Rio Grande. Os valores entre ambas estações mostraram-se correspondentes e indicam uma tendência de distribuição anual homogênea de chuvas (figura 5.1), sem nenhuma estação seca. Gomes (1987), ressalta que comparando as médias mensais da região fica evidente um índice de pluviosidade bastante homogêneo. Porém, o verão mostra períodos de chuvas mais intensas e irregulares.

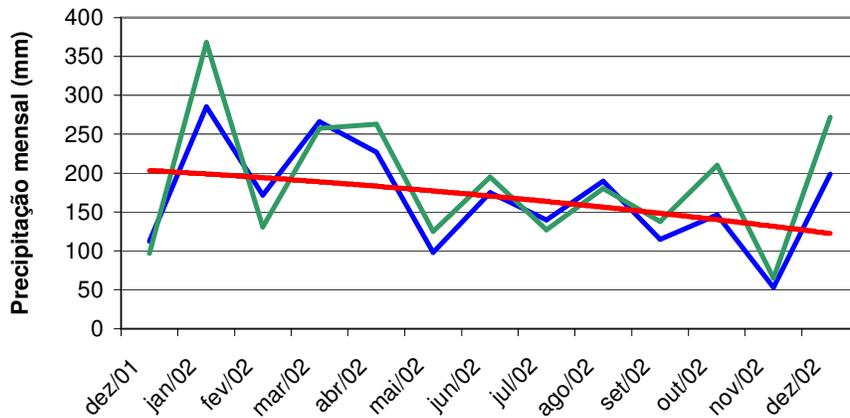


Figura 5.1 – Variação da precipitação mensal total (mm) (dez/2001 – dez/2002). Estação Negreiros (TAIM) (azul); Rio Grande (RS) (verde); linha de tendência da série (vermelho).

5.1.1.2. Nível da água

O hidroperíodo de um banhado corresponde à ocorrência periódica ou regular de inundação ou condições de solo saturado (Motta Marques *et al.* 2002); ou ainda o gradiente/permanência sazonal dos níveis de água. O hidroperíodo é característico para determinado tipo de banhado e sua ocorrência ano a ano apresenta razoável estabilidade (Mitsch & Gosselink, 1986).

No Sistema Hidrológico do Taim, a combinação de chuvas intensas e irregulares, uma forte evaporação nos períodos quentes acrescida da ação permanente do vento, provoca significativas variações na lamina d'água do banhado, que são multiplicadas quando se observa a topografia pouco acidentada da região (Gomes, 1987)

Outro fator a ser considerado é o que se refere à evapotranspiração promovida pela abundância de macrófitas aquáticas emergentes presentes no Banhado do Taim. Para Wetzel (1993) as perdas por evaporação são drasticamente modificadas pela transpiração de plantas aquáticas. Em lagos tropicais, muitas macrófitas são perenes e têm crescimento contínuo e o transporte de água do meio aquático para a atmosfera aumenta grandemente com a presença de vegetação litoral em crescimento.

O hidroperíodo pode definir de maneira significativa a quantidade e a qualidade do material suspenso e dissolvido na coluna d'água, atuando como

concentrador/diluidor nos períodos de estiagem e cheia respectivamente deste ou agindo de maneira indireta, alterando processos de produtividade primária e decomposição.

Os dados da variação da coluna d'água ao longo do período estudado foram obtidos junto aos linígrafos das comportas de drenagem, da Lagoa Nicola e da Lagoa Mangueira e apresentaram um perfil semelhante ao hidroperíodo potencial proposto por Motta Marques e Villanueva (2001). Porém, este se distinguiu no sentido de que a estação de cheia do banhado foi mais persistente, iniciando a elevação do nível d'água ainda em março (figura 5.2). No modelo proposto, a estação de estiagem no Taim tende a se prolongar até maio (figura 2.6).

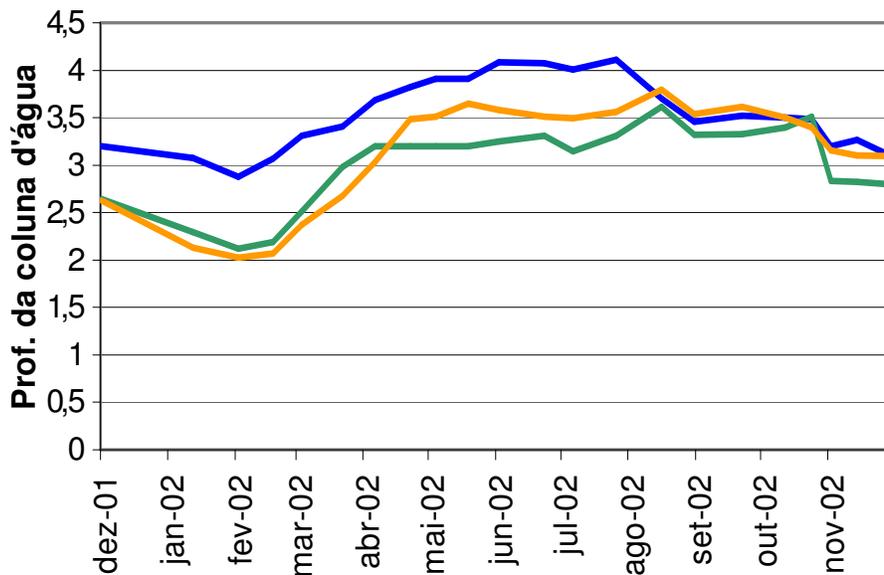


Figura 5.2 - Variação da coluna d'água (m) (dez/2001 – dez/2002). Lagoa Mangueira (azul); Comportas de drenagem (verde); Lagoa Nicola (laranja).

5.1.1.3. Vento

O vento é um componente sempre presente na região do Sistema Hidrológico do Taim. O principal efeito da ação do vento sobre ecossistemas lacunares é no que se refere a ressuspensão do sedimento (Knoppers & Moreira, 1990), reduzindo a transparência da coluna d'água, aumentando a concentração de material particulado e tornando disponíveis uma série de substâncias, em especial nutrientes.

Dados obtidos da estação meteorológica do Arroio Negreiros e do 8º Distrito de Meteorologia referentes a Rio Grande mostram que as médias mensais dos ventos também apresentaram um perfil sazonal definido, onde o ultimo quadrimestre do referido ano concentrou ventos mais intensos (figuras 5.3 e 5.4).

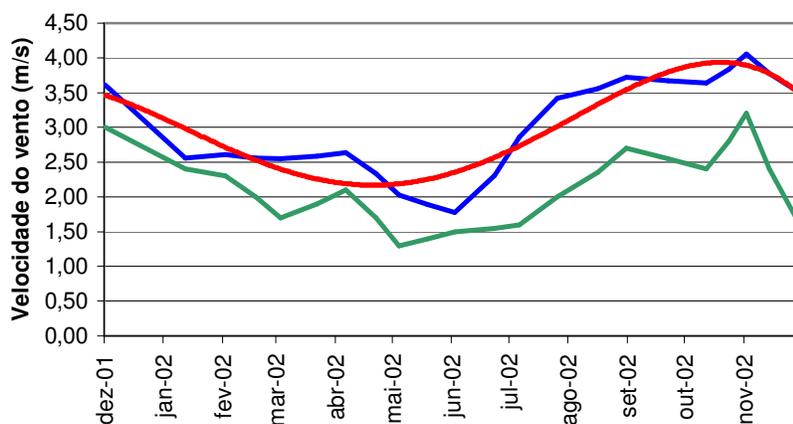


Figura 5.3 – Variação das médias mensais de velocidade do vento (m/s) (dez/2001 – dez/2002). Estação Negreiros (azul); Estação Rio Grande (verde); linha de tendência da série (vermelho).

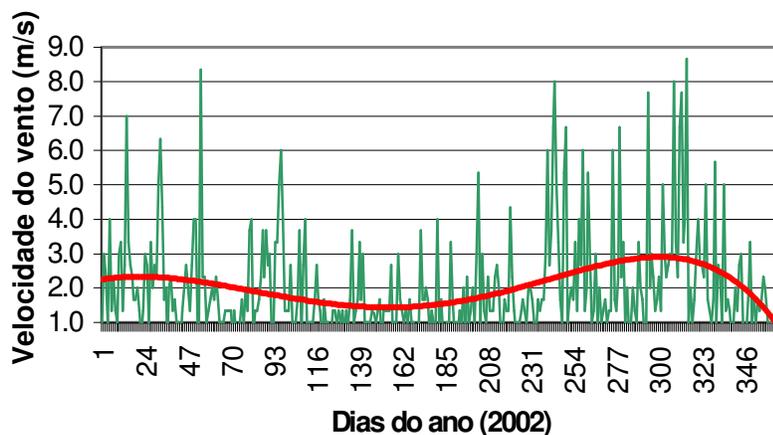


Figura 5.4 - Variação diária da velocidade do vento (m/s)(jan/2002 – dez/2002) da Estação de Rio Grande. Linha de tendência da série (vermelho).

5.1.2. Variáveis Físico-químicas

Tabela 5.1 – Coeficientes de variação diários (CV%) das variáveis descritoras da qualidade da água drenada via comportas de drenagem. Campanhas mensais

	Temp	PH	Cond	ORP	TOC totais	TOC dissolvidos	DQO totais	DQO dissolvidos
18 Dez-01	2.76	0.85	5.90	5.78	3.49	5.75	12.12	14.76
29 Jan-02	2.70	0.41	1.75	1.14	5.02	4.47	8.56	15.32
19 Fev-02	1.95	0.58	4.80	2.37	5.77	6.29	16.44	15.47
19 Mar-02	1.11	1.00	6.83	3.39	4.72	14.88	17.30	19.05
23 Abr-02	*	*	*	*	6.17	5.38	6.83	17.98
21 Mai-02	1.09	2.40	9.03	12.57	4.42	5.93	13.29	15.96
18 Jun-02	1.73	1.21	1.29	6.41	3.45	3.97	6.78	13.32
23 Jul-02	2.18	0.75	3.92	7.37	1.10	3.38	14.63	23.13
20 Ago-02	*	*	*	*	8.12	6.51	21.14	15.80
17 Set-02	*	*	*	*	9.89	5.19	19.81	23.50
29 Out-02	4.42	2.54	14.20	10.44	9.55	6.27	4.11	6.07
19 Nov-02	2.71	0.48	5.61	6.67	5.20	4.11	13.84	8.15
17 Dez-02	2.79	0.37	8.04	7.15	7.59	5.73	13.15	10.24

	Sólidos – totais	Sólidos dissolvidos	Sólidos fixos	Sólidos voláteis	Fósforo - totais	Fósforo dissolvidos
18 Dez-01	*	*	*	*	3.8	14.4
29 Jan-02	*	*	*	*	13.9	14.0
19 Fev-02	5.5	10.8	7.4	5.8	6.6	14.8
19 Mar-02	9.1	7.9	9.3	31.3	22.2	30.4
23 Abr-02	9.5	9.3	8.8	26.3	9.0	7.5
21 Mai-02	12.1	11.3	37.0	10.7	2.2	3.0
18 Jun-02	25.9	30.7	37.0	21.6	7.8	8.3
23 Jul-02	8.4	9.9	12.0	6.5	24.3	37.6
20 Ago-02	1.6	5.4	8.1	7.0	32.7	20.1
17 Set-02	2.9	6.1	9.3	9.9	23.7	37.5
29 Out-02	11.6	10.6	11.1	18.2	35.3	32.4
19 Nov-02	5.0	4.0	7.4	8.7	46.1	26.6
17 Dez-02	4.4	13.7	6.1	5.4	26.5	35.1

Tabela 5.2 – Médias e coeficiente de variação anual (CV%) das variáveis descritoras da qualidade da água drenada via comportas de drenagem. Campanhas quinzenais

	Temp	PH	Cond	ORP	TOC Totais	TOC dissolvidos	DQO totais	DQO dissolvidos	DQO particulados
Média (mg/L)	21.00	7.29	0.19	288.41	10.77	9.9	19.89	17.08	2.98
CV anual %	21.62	7.23	41.62	14.10	17.80	19.33	21.32	25.58	68.37

	Sólidos – totais	Sólidos dissolvidos	Sólidos particulados	Sólidos fixos	Sólidos voláteis	Fósforo totais	Fósforo dissolvidos	Clorofila a
Média (mg/L)	170.21	150.46	20.06	118.43	51.80	0.06	0.03	7.54
CV anual %	25.07	25.79	36.79	26.41	37.30	35.61	43.90	65.91

Temp – temperatura da água; pH – potencial hidrogeniônico; Cond – condutividade; ORP – potencial de oxirredução; TOC – Carbono Orgânico; DQO – demanda química de oxigênio. *Ausência de dados.

5.1.2.1. Temperatura da água

A temperatura corresponde a uma das mais importantes variáveis determinantes dos processos biológicos de um ecossistema. Durante o ciclo sazonal, a variação da temperatura em resposta as diferentes quantidades de energia solar que chegam a superfície terrestre (por conseqüência de seu eixo de inclinação) define, de uma forma geral, a velocidade das reações metabólicas, o movimento e a reprodução dos organismos, aspectos particularmente importantes para a manutenção dos níveis de produtividade biológica do meio (Kleerekoper, 1990). Os valores de temperatura da água observados para o ano de 2002 e os respectivos coeficientes de variação configuraram uma situação caracterizada por baixa variabilidade diária (CV de 1,1% a 4,4%) e alta variabilidade anual (CV de 21,6) (tabelas 5.1 e 5.2), com médias diárias mais altas nos meses de janeiro e dezembro (26,3 °C em 29 de janeiro e 23,2 °C em 19 fevereiro, meses de maior insolação), e médias diárias mais baixas nos meses de junho e julho (13,7 °C em 18 de junho e 14,2 °C em 23 de julho, meses de menor insolação) (figura 5.5). Este perfil refletiu a variação típica de um clima subtropical e a definição deste regime pode levar ao esclarecimento se temos de fato um sistema subtropical ou temperado quente.

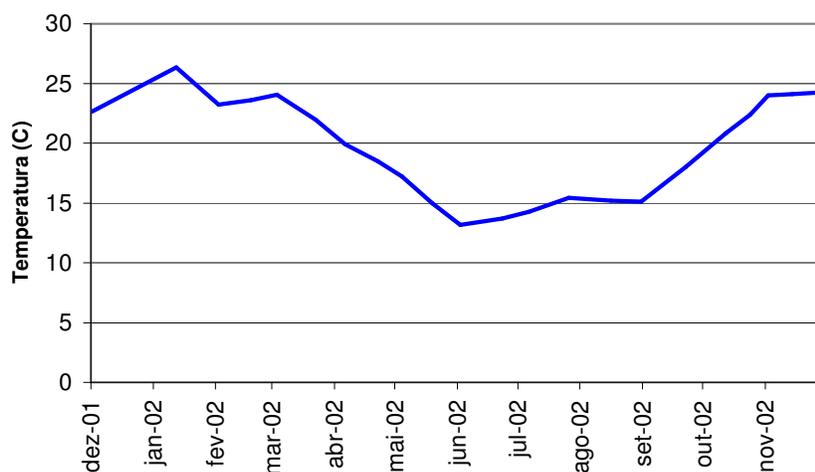


Figura 5.5 – Variação anual da temperatura da água (°C). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).

5.1.2.2. Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico é uma das variáveis de maior importância para caracterização e compreensão dos processos do meio aquático, mas devido ao grande número de fatores que podem interferir em sua definição, torna-se difícil de ser interpretada (Esteves 1998). Os valores de pH mostraram baixos coeficientes de variação diários (CV de 0,3% a 2,5%) e a variação anual também se mostrou relativamente baixa (7,23%) (tabelas 5.1 e 5.2), fazendo com que seus valores flutuassem muito próximos a uma média de 7.29 (o que se deve, muito provavelmente, ao fato da escala de pH ser logarítmica). De uma forma geral, os valores observados para pH mostraram que o sistema é de neutro a levemente alcalino. Nos meses de maio, junho e outubro o pH tornou-se mais ácido, ficando entre 6,5 e 7,0 (figura 5.6). A predominância de um pH alcalino em um ecossistema de banhado pode estar, neste caso, relacionado aos depósitos de carbonato presentes na formação geológica da região, oriundos de regressões marinhas passadas (Buchmann 1997).

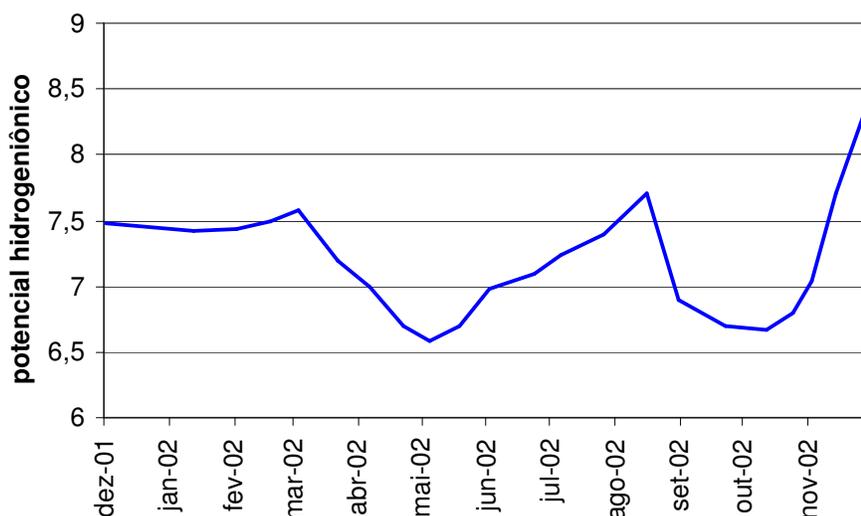


Figura 5.6 – Variação do potencial hidrogeniônico. Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).

5.1.2.3. Condutividade

A condutividade mensura a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica. Esta característica vai depender da concentração total de íons e substâncias dotadas de carga dissolvidas no meio, além da temperatura (APHA, 1992). Neste sentido, espera-se que soluções com maior grau de substâncias (íons) dissolvidas apresentem maior condutividade (Esteves, 1998). No presente trabalho, a condutividade apresentou de fato uma estreita relação com a temperatura ($R = 0,90$; $p < 0,001$) e com os níveis d'água ($R = -0,91$; $p < 0,001$) (tabela 5.3). Os valores mais baixos registrados foram no período do inverno e cheia do banhado ($0,06$ e $0,13$ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ em 18 de junho e 23 de julho) enquanto no verão, período de estiagem, estes valores aumentaram em quase 100% ($0,30$ e $0,26$ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ em 29 de janeiro e 19 de fevereiro) (figura 5.7); o que traduziu-se em um alto coeficiente de variação anual (41.62%) (tabela 5.2). Este comportamento pode estar relacionado a: a) temperatura, com a qual a condutividade tem uma relação direta; b) um possível aumento na concentração de materiais suspensos e dissolvidos na coluna d'água, em função de maior níveis de produtividade no verão e conseqüente mobilização destes materiais; c) variações no nível d'água e conseqüentemente no volume desta, que promoveria diluições/concentrações na quantidade de solutos presentes na coluna d'água.

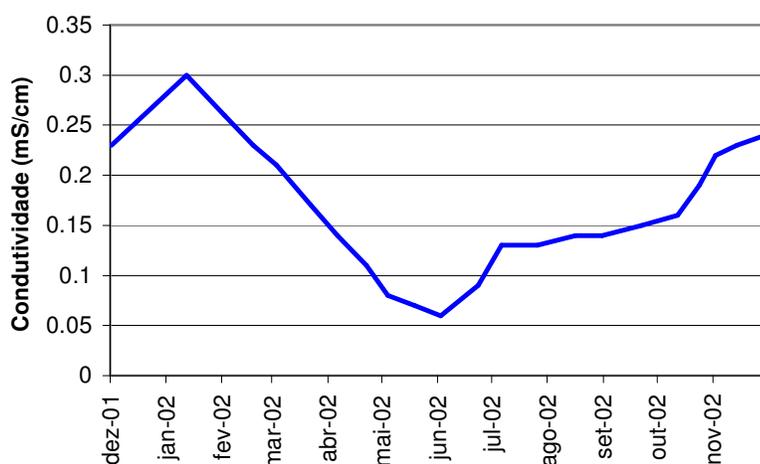


Figura 5.7 – Variação da condutividade (mS/cm). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).

5.1.2.4. Potencial de Oxirredução

O Potencial de Oxirredução (ORP) relaciona a concentração de elementos oxidantes ou redutores em uma determinada solução com sua respectiva força ou atividade, dando uma idéia clara da capacidade oxidante ou redutora dessa solução. Falando de maneira geral, a condição de redox do meio tem influência bastante considerável na química e bioquímica da água, já que os processos metabólicos do meio aquático (respiração, decomposição) dependem dela.

Os valores médios diários de ORP ao longo do perfil estudado se mantiveram altos (entre 244 mV em julho/02 e 371 mV em maio/02) (figura 5.8) caracterizando o ambiente no nível das comportas como oxidante. O coeficiente de variação anual foi de apenas 14% (tabela 5.2), indicando que esta variável não apresenta uma resposta sazonal acentuada. Os dias referentes aos meses mais quentes mostraram valores de ORP mais elevados.

A predominância de um caráter oxidante na água drenada pelas comportas de drenagem pode estar relacionada a altos valores no percentual de oxigênio dissolvido observados dentro do mesmo período (figura 5.9). Havendo um alto conteúdo de oxigênio dissolvido, valores de ORP tendem a ser altos (caráter oxidante), enquanto que em caso de concentração baixa de O₂, ou em sua ausência, processos redutivos são dominantes. Concentrações altas de matéria orgânica geralmente conferem um caráter redutivo à água, tendo em vista o consumo de oxigênio por processos de decomposição.

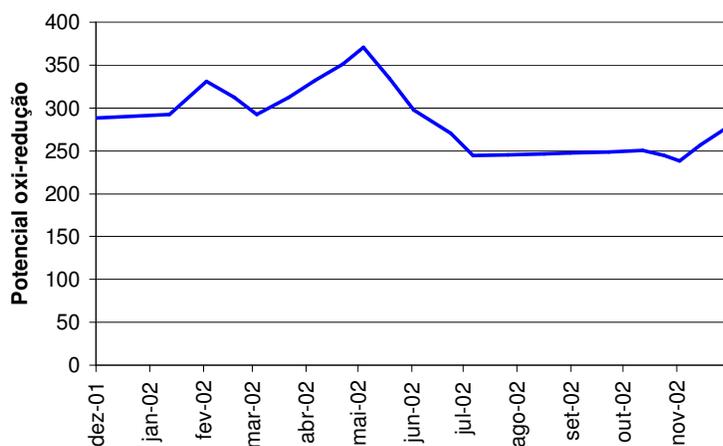


Figura 5.8 – Variação no potencial de oxirredução (mV). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).

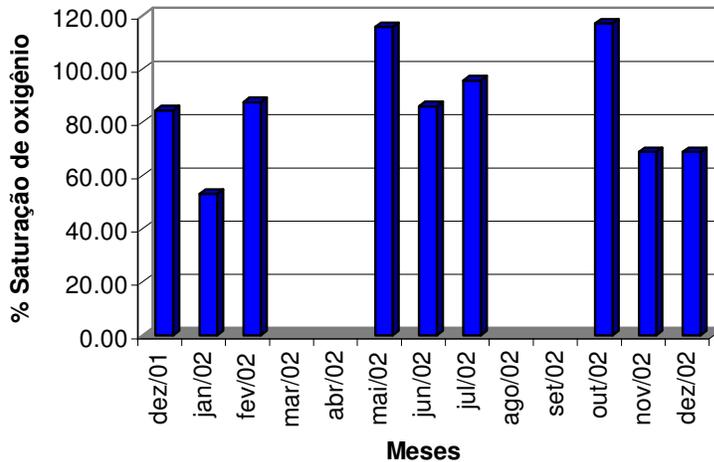


Figura 5.9 – Saturação de oxigênio (%). Médias diárias de campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002).

5.1.3. Análises estimativas da concentração de matéria no efluente

Carbono Orgânico Total, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos foram as principais variáveis analisadas para caracterização da variação sazonal da concentração de material orgânico e inorgânico transportado do Sistema Hidrológico do Taim. Cada um destes métodos de análise determinou as concentrações de diferentes frações do material total exportado na coluna d'água via comporta de drenagem.

Considerando o aspecto nutritivo para comunidades produtoras e consumidoras aquáticas, a disponibilidade e a qualidade da matéria particulada e dissolvida varia no tempo e no espaço em resposta a fatores físicos e biológicos. (Berg & Newell, 1986 apud Smaal & Haas 1997).

5.1.3.1. Carbono Orgânico Total (TOC)

O carbono orgânico mensurado pela análise de TOC (total organic carbon) detecta uma variedade de compostos orgânicos em diferentes estados de oxidação presentes na água. Embora o carbono orgânico total seja a mais direta expressão do conteúdo orgânico, este não estima uma série de compostos ligados à matéria orgânica, como o nitrogênio, hidrogênio e outros compostos inorgânicos. Neste sentido, a análise de TOC não substitui análises de DQO ou DBO, embora relações possam ser estabelecidas (APHA, 1992). O perfil anual do carbono orgânico medido da amostra total apresentou uma média de 10.77 mg/L e um coeficiente de variação de 17.8 %. A fração

dissolvida comportou-se de forma bastante semelhante, com média de 9,9 mg/L e coeficiente de variação de 19,33% (tabela 5.2). A variação sazonal não se mostrou muito acentuada e caracterizou-se por um decréscimo constante ao longo do período observado (dez/01 – dez/02) (figura 5.10). Aparentemente, este parâmetro respondeu com baixa amplitude às variações climáticas, não tendo o ciclo sazonal da temperatura efeitos decisivos sobre as variações da concentração de carbono orgânico que deixa o sistema (baixa correlação). Esta variável se mostrou negativamente melhor correlacionada à profundidade da coluna d'água do banhado (na comporta de drenagem) com valores de R entre -0,54 e -0,60 ($p= 0,009$ e $0,002$ respectivamente) (tabela 5.4). A variação do volume de água inerente ao hidroperíodo estaria promovendo um efeito diluente e/ou concentrador na quantidade de carbono orgânico presente na coluna d'água.

Considerando os valores médios para a porção total e dissolvida de carbono orgânico, pode-se concluir que aproximadamente 90% da matéria orgânica que deixa o sistema encontra-se na forma dissolvida (figura 5.10). Esta relação entre tamanho de partículas pode estar associada com a dinâmica da água dentro do banhado, com este atuando como uma bacia de alta rugosidade (macrófitas aquáticas emergentes) que promoveriam o amortecimento da turbulência. Wetzel (1993) coloca que quase todo o carbono orgânico das águas naturais está na forma dissolvida, com uma razão muitas vezes próxima de 6:1 podendo alcançar até 10:1.

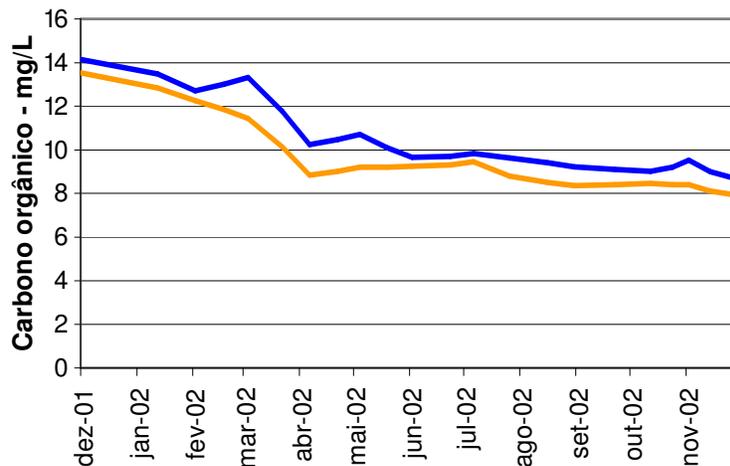


Figura 5.10 – Variação do carbono orgânico (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). Carbono orgânico total (azul); Carbono orgânico dissolvido (laranja).

5.1.3.2. Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) mensura, por uma relação estequiométrica, o conteúdo de matéria suscetível a oxidação presente na coluna d'água. A DQO é uma variável que pode ser empiricamente relacionada ao carbono orgânico ou matéria orgânica presente no meio aquático (APHA, 1992) sendo, neste sentido, usada para estimar o seu conteúdo. Este método, contudo, detecta arbitrariamente a quantidade de substâncias oxidáveis na água, não obrigatoriamente orgânicas. Os valores obtidos com esta análise servem apenas para, dentro de um mesmo corpo d'água, comparar oscilações ao longo de gradientes temporais e/ou espaciais (Kleerekoper, 1990).

A DQO da amostra total ao longo do ano observado apresentou uma média de 19,8 mg O₂/L com um coeficiente de variação de 21 % (tabela 5.2). Embora o coeficiente de variação diário da demanda química de oxigênio tenha alcançado valores similares em determinados dias do ano (21% em agosto/02) (tabela 5.1) foi possível visualizar uma tendência sazonal para esta variável. Valores de CV altos para dados dias podem estar relacionados a fatores de curta duração ou pontuais - como ventos ou precipitações ocorridas naquele dia - cujos efeitos sobressaem-se aos efeitos de condições climáticas sazonais. Tal afirmação, entretanto, não passa de hipótese, tendo em vista que as variáveis climáticas foram tomadas em escala mensal.

A presença de elevados valores ("outliers") na segunda quinzena de outubro (mais perceptível na curva referente à demanda química de oxigênio da fração particulada – campanhas quinzenais) também se deve a tais fatores pontuais. Na data de coleta em questão, os ventos mostraram-se bastante intensos, que além de provocarem uma maior ressuspensão do sedimento, deslocaram um estande de macrofitas flutuantes para junto das comportas. Este fenômeno terminou por alterar os parâmetros de qualidade do efluente, de forma que este não representava a real situação do material que deixava o banhado. Outras variáveis também mostraram resposta a este fato atípico.

Diferentemente do carbono orgânico, a demanda química de oxigênio mostrou valores mais elevados nas estações quentes, reduzindo-se para a estação fria (figuras 5.11 e 5.12). Esta resposta sensivelmente diferenciada, associada a valores mais altos da DQO com relação ao TOC, evidencia que

distintas formas de matéria orgânica foram detectadas em cada análise e que estas podem estar respondendo de maneira diferenciada ao ciclo sazonal. A DQO apresentou estreita relação positiva com a temperatura ($R=0,80$; $p<0,001$) (tabela 5.3) indicando que esta pode estar influenciando os níveis de produção e ciclagem de material no sistema hidrológico, determinando padrões na quantidade de material presente na coluna d'água.

A DQO apresentou também forte correlação negativa com os níveis d'água no banhado ($R=-0,53$ a $-0,83$; $p=0,01$ a $<0,001$) (tabela 5.3) o que evidencia, como para o TOC, que as variações no volume da água do banhado agiriam no sentido de diluir/concentrar o material presente na coluna d'água.

A relação entre a demanda química de oxigênio da fração total e dissolvida mostrou, assim como o carbono orgânico, que grande parte da matéria orgânica está na forma dissolvida (85%), sendo ela a principal responsável pelo perfil sazonal observado.

A demanda química de oxigênio da porção particulada apresentou alto coeficiente de variação anual (68,3%) que pode estar relacionado, além da resposta ao clima, às baixas concentrações de material particulado que associado aos ruídos da análise, terminam por traduzirem-se nesta alta variabilidade.

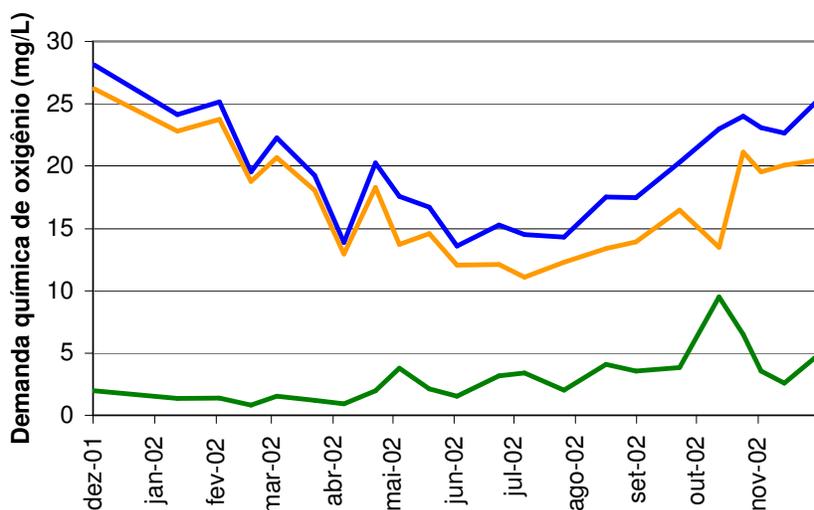


Figura 5.11 – Variação da demanda química de oxigênio (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001 – dez/2002). DQO fração total (azul); DQO fração dissolvida (laranja); DQO fração particulada (verde)

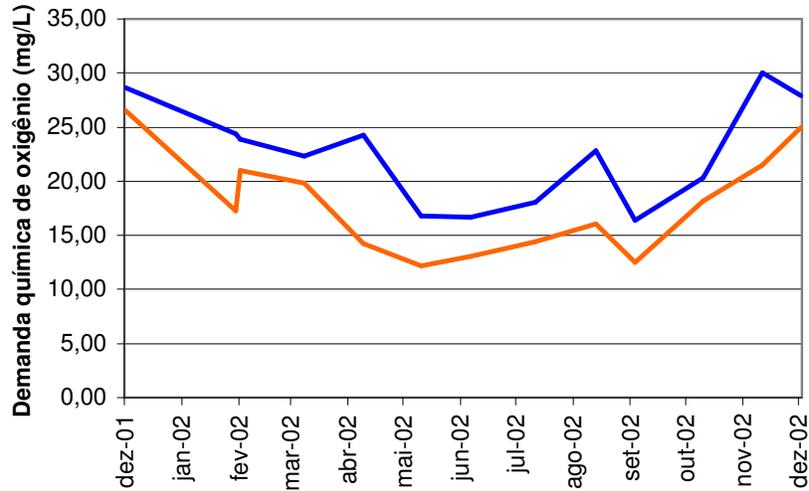


Figura 5.12 – Variação da demanda química de oxigênio (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). DQO fração total (azul); DQO fração dissolvida (laranja).

5.1.3.3. Sólidos – Dissolvidos e particulados

Sólidos refletem a quantidade de matéria presente na coluna d'água, seja ela orgânica ou não. Uma série de fatores pode determinar a dinâmica do material em suspensão em sistemas lacunares, como o aporte fluvial, contribuição alóctone, produtividade fitoplanctônica, e ressuspensão de material do sedimento pela ação do vento (Knoppers & Moreira, 1990). Na curva de sólidos totais para o período analisado ficou evidente, assim como para demanda química de oxigênio, uma redução da concentração de material dissolvido e suspenso durante os meses de inverno (figuras 5.13 e 5.14). Os índices de correlação das diversas formas de sólidos com relação a temperatura se mostram bastante altos, especialmente sólidos totais e dissolvidos ($R=0,82$ e $0,83$, respectivamente; $p<0,001$) (tabela 5.3), indicando, como para DQO, que níveis mais elevados de produção e ciclagem de material inerentes às estações quentes influenciariam a quantidade de material suspenso na coluna d'água.

Da mesma forma que a demanda química de oxigênio, sólidos totais e dissolvidos apresentaram forte correlação negativa com os níveis de água do banhado ($R< -0,8$; $p<0,001$) (tabela 5.3), o que permite afirmar, como para

outras variáveis (TOC e DQO), que variações no volume d'água tendem a diluir ou concentrar o material presente na coluna d'água.

A concentração total de sólidos apresentou uma média e coeficiente de variação anual de 170 mg /L e 25 % respectivamente. Para sólidos dissolvidos, a média foi de 150 mg/L e coeficiente de variação de 25% (tabela 5.2). Alguns perfis diários apresentaram também coeficientes de variação de mesma amplitude (25% em junho/02) (tabela 5.1) o que pode estar associado aos mesmos fatores descritos para a demanda química de oxigênio: distúrbios pontuais provocados por ventos e/ou precipitações ocorridas nos dias de coleta cujos efeitos predominam sobre os efeitos de condições climáticas sazonais. Em vista disso, a segunda quinzena de outubro (campanhas quinzenais) mostrou valores que se distanciaram da tendência geral do período. Nesta data, os ventos se mostraram intensos. Além da ressuspensão do sedimento, um estande de macrofitas flutuantes foi deslocado para junto da comporta, alterando a quantidade dos materiais que contribuem para os níveis desta variável.

A análise das porções particulada e dissolvida das amostras indicou, como já constatado para outras variáveis, que mais de 80% do material existente na coluna d'água está na forma dissolvida, e que a amplitude da variação sazonal identificada deveu-se basicamente a esta fração do material. A porção particulada de sólidos, assim como a porção particulada na demanda química de oxigênio, apresentou concentrações relativamente baixas ao longo do período estudado.

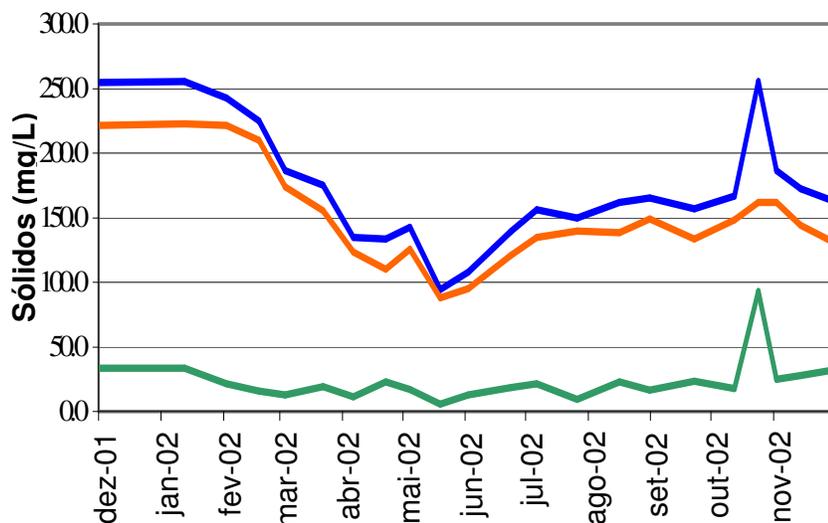


Figura 5.13 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001 – dez/2002). Fração total (azul); fração dissolvida (laranja); fração particulada (verde).

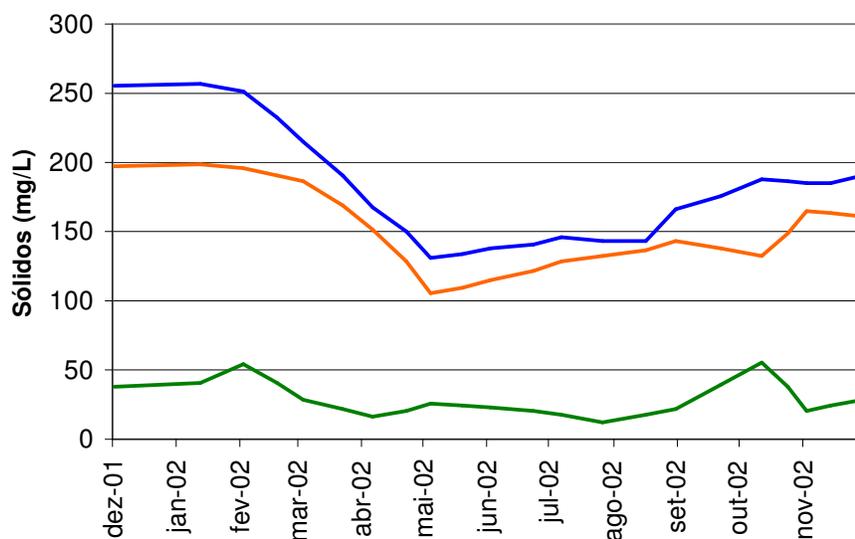


Figura 5.14 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). Fração total (azul); fração dissolvida (laranja); fração particulada (verde).

5.1.3.4. Sólidos orgânicos e inorgânicos

A porção fixa (inorgânica) correspondeu a maior parte do material exportado do banhado, com uma média anual de 118,4 mg/L e Coeficiente de variação de 26%. A porção volátil (orgânica) teve media anual de 51,8 mg/L e coeficiente de variação de 37,3% (tabela 5.2). A relação entre a fração fixa e

volátil ficou em aproximadamente 2:1 respectivamente. Ambas frações apresentaram resposta ao ciclo sazonal, com suas concentrações reduzindo-se no inverno (figuras 5.15 e 5.16). A porção volátil (orgânica) teve uma resposta sensivelmente diferenciada, reduzindo também suas concentrações no inverno, mas não voltando a alcançar os mesmos níveis observados no verão anterior, comportando-se de maneira muito semelhante às medidas de carbono orgânico.

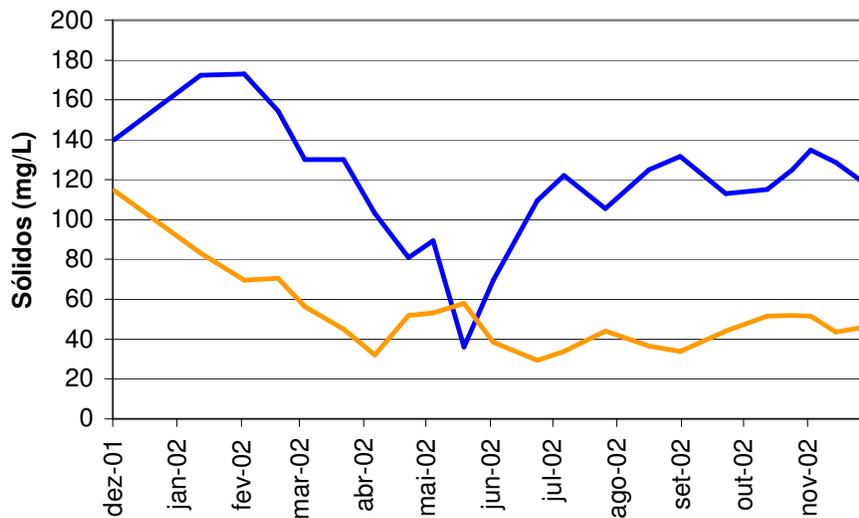


Figura 5.15 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002). Fração fixa (azul); fração volátil (laranja).

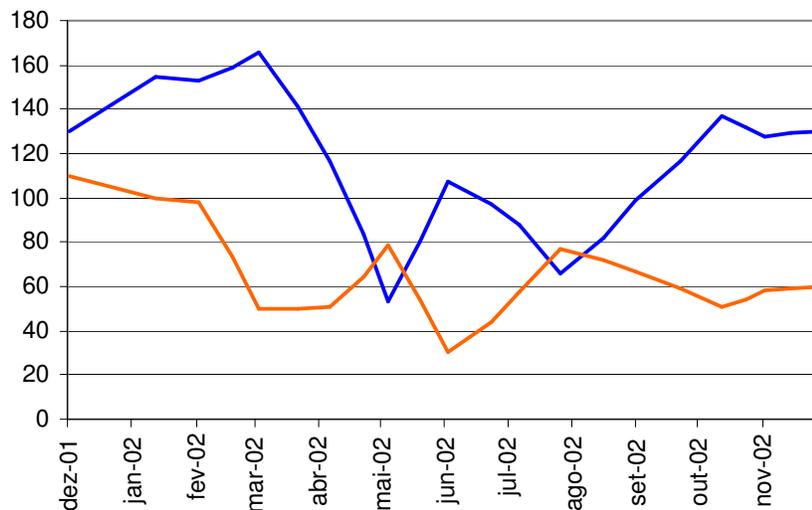


Figura 5.16 – Variação da concentração de sólidos (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). Fração fixa (azul); fração volátil (laranja).

5.1.4. Nutrientes – Fósforo e Nitrogênio

O fósforo é o 11^o elemento mais presente nos minerais da crosta terrestre, geralmente encontrado na forma de ortofosfato. Na natureza, o fósforo ocorre quase que exclusivamente como fosfato, sendo este dissolvido em meio aquático pela ação do intemperismo sobre as rochas. Uma vez dissolvido este converte-se em ortofosfato, que assume diferentes formas de acordo com o pH do meio. (Waite, 1984).

O fósforo é essencial para o desenvolvimento dos organismos e pode ser um nutriente limitante da produtividade primária no meio aquático. As diversas formas do fósforo ciclam dentro do meio aquoso, contribuindo para atividade biológica, até serem removidas do sistema por sedimentação no substrato e no lodo, como formas inorgânicas e compostos orgânicos precipitados (APHA, 1992).

O nitrogênio é de igual importância para a síntese de compostos orgânicos e o crescimento. Geralmente, no meio ambiente aquático, as formas melhor assimiláveis deste elemento por processos de produção primários (nitrato, nitrito e amônia) são encontradas em quantidades mínimas em águas naturais, indicando que o nitrogênio também pode ser um fator limitante da produtividade do sistema. Neste sentido, o estudo das relações deste elemento com a biologia do meio aquático vem sendo um dos principais focos das abordagens limnológicas (Kleerekoper, 1990).

A concentração de nutrientes totais (nitrogênio e fósforo) disponíveis na coluna d'água que deixam o Sistema Hidrológico do Taim via comportas de drenagem pode ser considerada baixa ao longo do período estudado (figuras 5.17 e 5.18). Uma série de fatores certamente contribuiu para a manutenção destes níveis. Um refere-se ao fato da área de drenagem da bacia ser composta essencialmente de solos arenosos com baixa disponibilidade de nutrientes a serem lixiviados (SHT –Relatório 2001).

Outro fator ainda a ser considerado é a alta produção primária de macrófitas aquáticas a qual reteria nutrientes tanto na biomassa viva como também no material orgânico em decomposição depositado no sedimento (“litter”). Estudos conduzidos em sedimentos sugerem que a presença abundante de nutrientes neste compartimento e não na coluna d'água seria um

dos principais fatores responsáveis pela alta produtividade em banhados (Westlake, 1963 apud Westlake et al, 1998).

A pobreza em nutrientes (P e N) nos ecossistemas lacustres do Rio de Janeiro reflete em grande parte a pobreza dos ecossistemas terrestres adjacentes que são caracterizados por solos arenosos típicos de restinga. Provavelmente, a turbulência típica de lagos rasos e as altas temperaturas intensificam a atividade microbiana e, em conseqüência, grande parte do detrito orgânico é decomposto na própria coluna d'água sendo a porção nutritiva imediatamente reabsorvida pelo fitoplâncton (Esteves et al, 1984).

Os coeficientes de variação anual e diários na concentração de fósforo total mostraram-se bastante elevados e de mesma amplitude (30 % - 100%) (tabelas 5.1 e 5.2). Embora tenham sido grandes as variações na concentração deste elemento, não foi possível verificar alguma tendência sazonal marcante ou correlação com algum outro fator, em especial fatores climáticos (tabela 5.4). A baixa concentração de fósforo presente na coluna d'água pode ter contribuído para interpretação de possíveis "ruídos" como variação (figuras 5.17 e 5.18). Outra explicação seria ainda a de que esta variável responderia a fatores com ação curta ou pontuais, cujos efeitos se sobressaem aos efeitos das condições climáticas sazonais.

A presença de um "outlier" na segunda quinzena de outubro se deve a ação intensa do vento naquela data que além de ressuspender o sedimento deslocou um estande de macrofitas flutuantes para junto do ponto de coleta. Este fato alterou significativamente os parâmetros de qualidade do efluente e conseqüentemente os níveis de fósforo da amostra.

Os dados de Nitrogênio (figura 5.19) apenas ilustram o quanto é baixa sua disponibilidade no sistema. Estes valores pertencem uma série de campanhas piloto, cujo período não é concomitante às campanhas das demais variáveis. Neste sentido, uma análise comparativa entre esta e outras variáveis não foi possível.

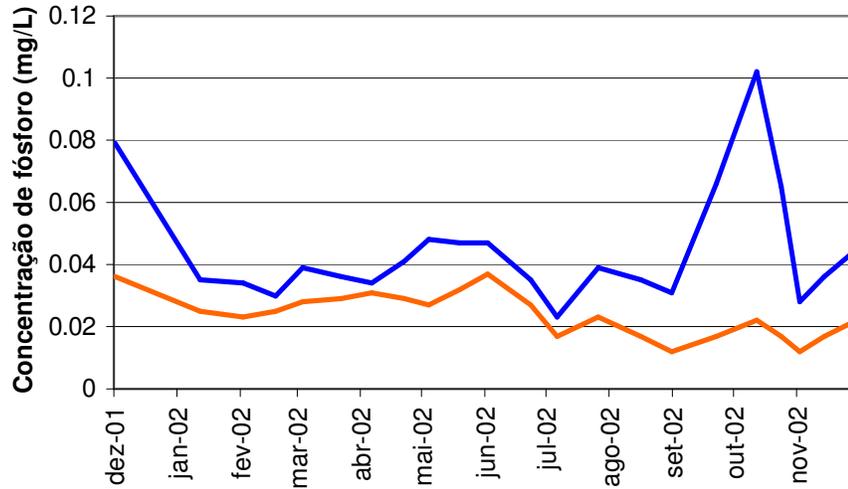


Figura 5.17 – Variação da concentração de fósforo (mg/L). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002). Fração total (azul); fração dissolvida (laranja).

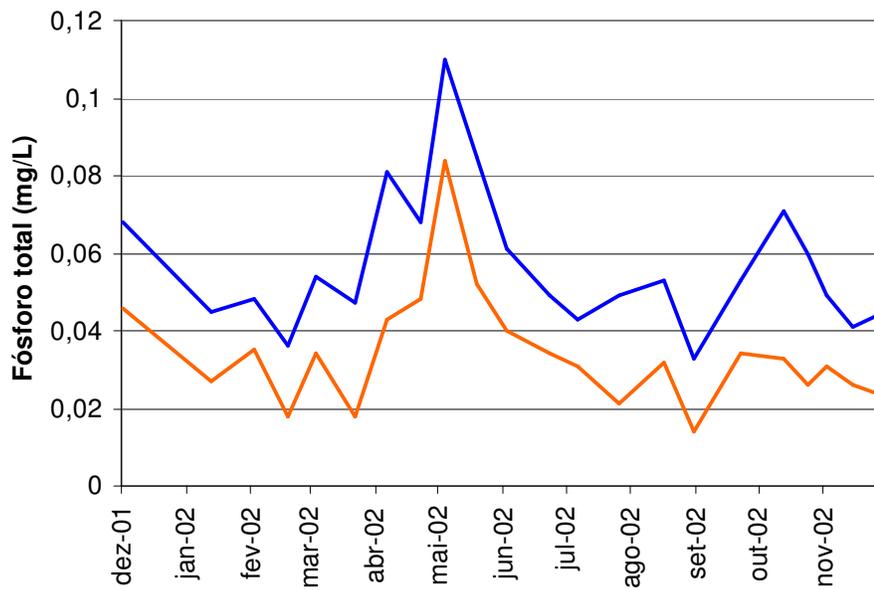


Figura 5.18 – Variação da concentração de fósforo (mg/L). Médias diárias das campanhas mensais (dez/2001 – dez/2002). Fração total (azul); fração dissolvida (laranja).

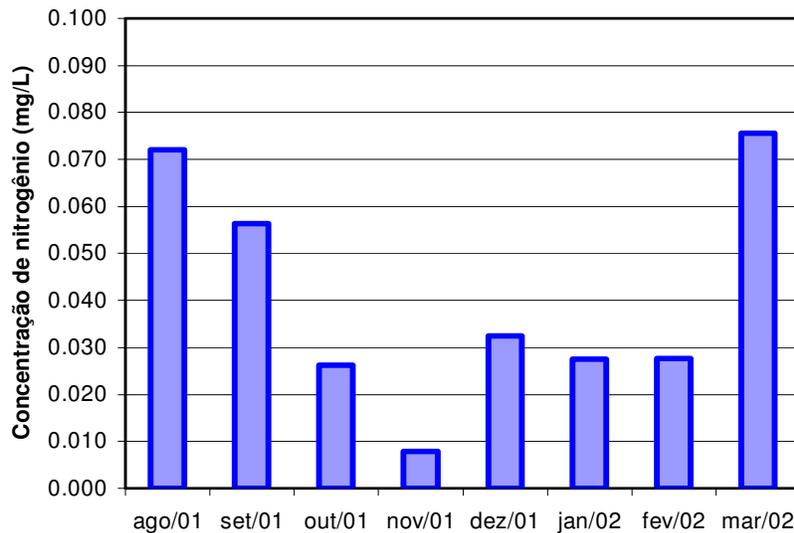


Figura 5.19– Médias diárias da concentração de nitrogênio total nas datas de coleta (agosto 2001 a março 2002).

5.1.5. Clorofila α

A clorofila α , um pigmento fotossintetizante, é o pigmento mais abundante e importante no material vivo. (Vollenweider, 1974 *apud* Cardoso, 2001). No ambiente aquático, são algas unicelulares suspensas na coluna d'água (fitoplâncton) as principais responsáveis pela presença deste pigmento, estando seus níveis diretamente relacionados à produtividade e ao estado trófico do sistema (Braga 1999). Neste sentido, estimativas da concentração de clorofila α na coluna d'água geram informação a respeito da qualidade e quantidade do material total presente em solução.

Este pigmento possui picos específicos de absorção da luz visível, na faixa do azul e do vermelho, mas que podem ser mascarados quando também estão presentes sedimentos em suspensão ou matéria orgânica dissolvida na água (Bowers et al, 1996 *apud* Braga 1999).

A concentração de clorofila α presente na água drenada do banhado via comportas apresentou um perfil distinto das demais variáveis até agora descritas para o período estudado. O estado trófico do efluente, avaliado segundo as concentrações de clorofila α (Di Bernardo, 1995), variou do estado: a) **oligotrófico** (Cl α entre 0 e 4 $\mu\text{g/L}$) nos meses de março a abril (outono) e nos meses de julho e agosto (inverno); b) **mesotrófico** (Cl α entre 4 e 10 $\mu\text{g/L}$) nos meses de janeiro e fevereiro (verão), maio e junho (final de outono) e

setembro (início da primavera); c) **eutrófico** ($Cl\ \alpha > 10\ \mu\text{g/L}$) nos meses de outubro, novembro e dezembro (primavera e início do verão)(figura 5.20).

Esta concentração mais elevada de clorofila durante a primavera pode estar ligada a uma maior concentração de feofitina proveniente de um acréscimo da decomposição da matéria orgânica contida no meio aquático em resposta ao aumento da temperatura. A degradação de partes clorofiladas de macrofitas poderia interferir no equilíbrio da clorofila α /feofitina, favorecendo um aumento deste último pigmento no sistema (Aleixo, 1981). A feofitina é um produto da degradação da clorofila α , que pode interferir grandemente nas medidas deste pigmento por absorver luz na mesma região do espectro que a clorofila α (CETESB, 1993).

A correlação da concentração de clorofila α com as demais variáveis estimadas, em especial as climáticas, mostrou que o fitoplâncton responde primordialmente ao regime dos ventos sobre a região de inserção do banhado ($r=0,524$; $p=0,0122$) (tabela 5.3). Esta relação entre a concentração de clorofila e ventos já foi observado em outros sistemas lacustres do litoral gaúcho e dentro do próprio Taim. Crossetti *et al* (2003) coloca que o hidroperíodo do Taim parece não ter influência preponderante e direta sobre a densidade do fitoplâncton e valores de clorofila α registrados no ano de 2001 e que o vento aparece como fator primário determinante de padrões.

Trabalhos conduzidos na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, concluíram que a ação dos ventos sobre coluna d'água e a variação de uma série de variáveis hidrológicas se mostram diretamente relacionadas. De maneira indireta, a biomassa fitoplanctônica responde à remoção de nutrientes do sedimento para a superfície promovida pela turbulência (Becker, 2002; Cardoso, 2001).

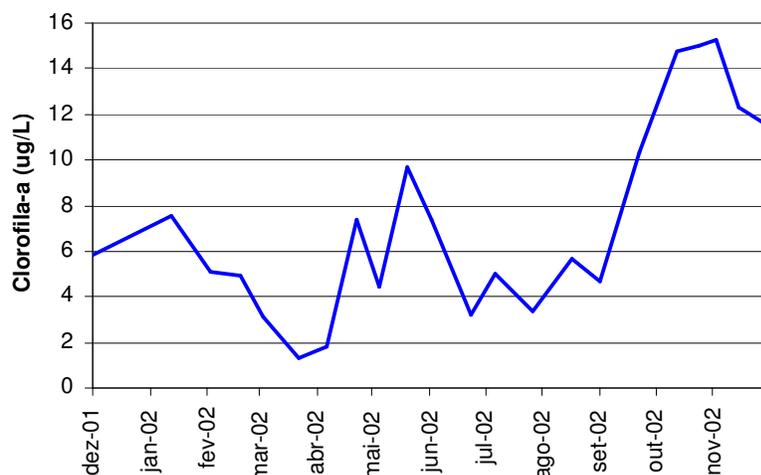


Figura 5.20 – Variação da concentração de clorofila α ($\mu\text{g/L}$). Campanha quinzenal (dez/2001-dez/2002).

Tabela 5.3 - Índices de correlação de Pearson e valores de p significativos ($< 0,05$) entre as variáveis hidrometeorológicas e físico-químico-biológicas com distribuição normal.

	TEMP	p	NIVEL C	p	NIVEL M	p	NIVEL N	p	VENTO	p	PREC	p
COND	0,9	<0.001	-0,757	<0.001	-0,919	<0.001	-0,786	<0.001	0,426	0,0479	-	-
ORP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-0,486	0,022	-0,471	0,027	-0,436	0,0426	-	-	-	-
DQO t	0,815	<0.001	-0,529	0,0113	-0,824	<0.001	-0,53	0,0112	0,448	0,0367	-	-
DQO d	0,839	<0.001	-0,707	<0.001	-0,832	<0.001	-0,721	<0.001	-	-	-	-
DQO p	-	-	0,515	0,0142	-	-	0,485	0,022	0,519	0,0133	-	-
ST	0,828	<0.001	-0,823	<0.001	-0,886	<0.001	-0,891	-	-	-	-	-
SD	0,833	<0.001	-0,835	<0.001	-0,885	<0.001	-0,909	-	-	-	-	-
SP	0,534	0,0105	-	-	-0,556	0,0072	-	-	0,659	0,0315	-	-
SF	0,807	<0.001	-0,692	<0.001	-0,821	<0.001	-0,798	<0.001	-	-	-	-
SV	0,556	0,0072	-0,637	0,0014	-0,554	0,0074	-0,624	0,0019	-	-	-	-
CLOR	-	-	-	-	-	-	-	-	0,524	0,0122	-	-

Tabela 5.4 - Índices de correlação Spearman e valores de p significativos entre as variáveis hidrometeorológicas e físico-químico-biológicas sem distribuição normal.

	TEMP	p	NIVEL C	p	NIVEL M	p	NIVEL N	p	VENTO	p	PREC	p
TOct	-	-	-0,605	0,002	-	-	-0,544	0,008	-0,576	0,005	-	-
TOCd	-	-	-0,544	0,009	-	-	-0,477	0,024	-0,601	0,003	-	-
Pt	-	-	-	-	0,433	0,043	-	-	-	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CLOR – clorofila; COND – condutividade; DQOd – demanda química de oxigênio (porção dissolvida); DQOp – demanda química de oxigênio (porção particulada); DQOt – demanda química de oxigênio total; NIVEL C – profundidade da coluna d’água no ponto comportas; NIVEL M – profundidade da coluna d’água no ponto Mangueira; NIVEL N – profundidade da coluna d’água no ponto Nicola; ORP – potencial de oxirredução; pH – potencial hidrogeniônico; Pt – fósforo total (porção total); Pd – fósforo total (porção dissolvida); PREC – precipitação; SD – sólidos dissolvidos; SF – sólidos fixos; SP – sólidos particulados; ST – sólidos totais; SV – sólidos voláteis; TEMP – temperatura da água; TOct – carbono orgânico (porção total); TOCd – carbono orgânico (porção dissolvida); VENTO – vento na estação Negreiros.

5.2. Síntese dos padrões de variação - PCA

Com o objetivo de sintetizar os resultados dos perfis obtidos ao longo do período estudado, estes foram ordenados através de uma Análise de Componentes Principais (PCA). Os Componentes 1 e 2 explicaram 49,26% e 18,51%, respectivamente, da variabilidade total dos dados (tabela 5.5).

Os escores do Componente principal 1 estiveram altamente correlacionados com os descritores originais da condutividade, carbono orgânico, demanda química de oxigênio, diversas frações de sólidos e temperatura da água, e negativamente correlacionados com os níveis d'água nos diversos pontos do Sistema hidrológico do Taim (comportas, Lagoa Nicola e Lagoa Mangueira) (tabela 5.5) (figura 5.21a). Neste sentido, o primeiro componente representa uma resposta às variações do hidroperíodo e da temperatura do ambiente, que refletem, respectivamente, a) alterações nas concentrações relativas dos materiais disponíveis na coluna d'água por diluição/concentração b) alterações na velocidade de processos de produção e decomposição da matéria. Deve-se ressaltar que ambos os fatores agem simultaneamente, ou seja, os valores observados são o efeito do hidroperíodo e da temperatura, além de uma série de outros fatores coadjuvantes interferindo sobre o sistema e determinando a quantidade de material que deixa o banhado.

A alta correlação dos descritores originais do carbono orgânico, demanda química de oxigênio e sólidos com a componente 1, permite confirmar o que era esperado que tais variáveis apresentassem naturalmente tal distribuição correlacionada, tendo em vista que estas análises determinam aspectos comuns da matéria presente na coluna d'água. Neste sentido, portanto, podem ser consideradas variáveis redundantes, que diferem entre si apenas pela fração da matéria presente que detectam, mas que respondem de maneira semelhante ao -ciclo sazonal.

O componente principal 2, correlacionou-se negativamente com as concentrações das frações particuladas da demanda química de oxigênio e sólidos, clorofila α e o regime de ventos (tabela 5.5) (figura 5.21b). Este componente se define por uma série de variáveis que respondem à dinâmica do vento sobre o sistema. É lógico pensar que períodos de maior intensidade

de ventos interfeririam no sentido de ocasionar a ressuspensão de detritos, elevando a quantidade de material particulado na coluna d'água, além de disponibilizar nutrientes que seriam prontamente incorporados a biomassa fitoplanctônica, refletido em maiores quantidades de clorofila α .

Os resultados evidenciados com a análise de componentes principais confirmam o que foi observado através dos índices de correlação entre as variáveis, além de reforçar as hipóteses a respeito do hidroperíodo em conjunto com a temperatura e o regime de ventos como os principais fatores a exercerem uma influência preponderante sobre os processos que ocorrem dentro do Sistema Hidrológico do Taim.

Tabela 5.5 - Coeficiente de correlação entre os descritores e as principais componentes obtidas por ordenação (PCA).

	COMPONENTE 1	COMPONENTE 2
PH	0.50159	-0.15913
COND	0.94057	-0.24932
TOCt	0.71607	0.6373
TOCd	0.73903	0.57439
ORP	0.010717	0.85138
TEMP	0.85084	-0.13092
DQOt	0.80084	-0.26547
DQOd	0.88063	0.0076957
DQOp	-0.21552	-0.69508
ST	0.98233	0.035427
SP	0.61605	-0.92692
SD	0.96564	0.020436
SF	0.84059	-0.24215
SV	0.74628	0.32142
Pt	0.028871	-0.2041
Pd	-0.32545	0.56174
CLOR	0.052435	-0.67187
NIVEL M	-0.90647	0.20114
NIVEL C	-0.84894	-0.32626
NIVEL N	-0.89169	-0.33223
VENTO	0.24134	-0.8609
VARIAÇÃO ACUMULADA	49,26%	18,51%

CLOR – clorofila; COND – condutividade; DQOd – demanda química de oxigênio (porção dissolvida); DQOp – demanda química de oxigênio (porção particulada); DQOt – demanda química de oxigênio total; NIVEL C – profundidade da coluna d'água no ponto comportas; NIVEL M – profundidade da coluna d'água no ponto Mangueira; NIVEL N – profundidade da coluna d'água no ponto Nicola; ORP – potencial de oxi-redução; pH – potencial hidrogeniônico; Pd – fósforo total dissolvido; Pt – fósforo total; SD – sólidos dissolvidos; SF – sólidos fixos; SP – sólidos particulados; ST – sólidos totais; SV – sólidos voláteis; TEMP – temperatura da água; TOCd – carbono orgânico dissolvido; TOCt – carbono orgânico total; VENTO – vento na estação Negreiros.

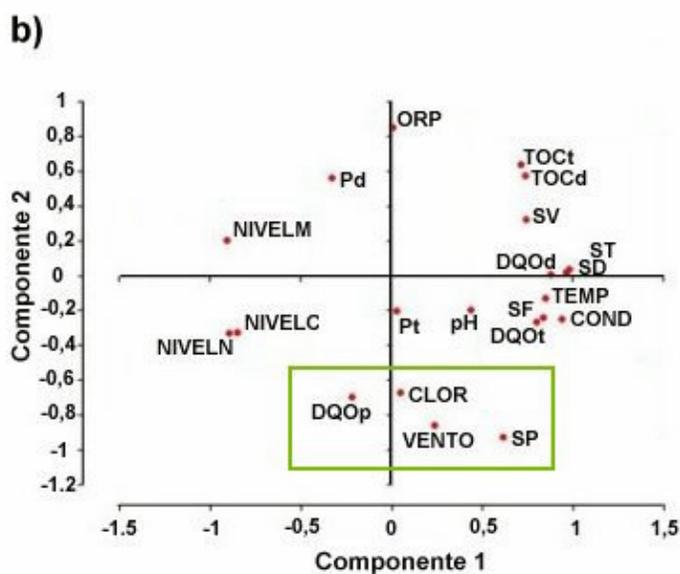
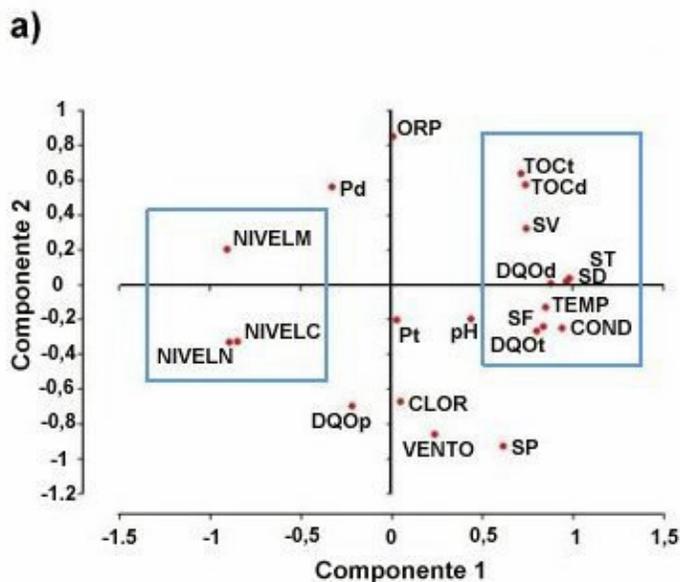


Figura 5.21 – Diagramas de dispersão dos dois primeiros componentes principais. a) relação entre as variáveis no primeiro componente; b) relação entre as variáveis no segundo componente. CLOR – clorofila; COND – condutividade; DQOd – demanda química de oxigênio (porção dissolvida); DQOp – demanda química de oxigênio (porção particulada); DQOt – demanda química de oxigênio total; NIVEL C – profundidade da coluna d’água no ponto comportas; NIVEL M – profundidade da coluna d’água no ponto Mangueira; NIVEL N – profundidade da coluna d’água no ponto Nicola; ORP – potencial de oxi-redução; pH – potencial hidrogeniônico; Pd – fósforo total dissolvido; Pt – fósforo total; SD – sólidos dissolvidos; SF – sólidos fixos; SP – sólidos particulados; ST – sólidos totais; SV – sólidos voláteis; TEMP – temperatura da água; TOCd – carbono orgânico dissolvido; TOCt – carbono orgânico total; VENTO – vento na estação Negreiros.

5.3. Estimação da concentração do material exportado do SHT

A construção de modelos para a previsão de variáveis ecológicas de um determinado ecossistema são ferramentas fundamentais para a compreensão e monitoramento deste sistema. Podem mostrar o seu comportamento, para certas repostas, sob condições de contorno conhecidas. Estes modelos podem assumir várias formas. Modelos estatísticos, havendo dados representativos, são adequados tanto para mostrar funcionalidade como para previsão.

A seleção de modelos envolve a procura de um modelo o mais simples possível, razoável, que descreva bem os dados observados. Na maior parte das situações pode-se pensar na variável resposta consistindo de duas partes distintas (Nelder & Wedderburn, 1972):

- a) **um componente sistemático**, que é estabelecido durante o planeamento (fundamental para a obtenção de conclusões confiáveis) do experimento, resultando em modelos de regressão (linear simples, múltipla, não linear etc), de análise de variância e de análise de covariância;
- b) **um componente aleatório**, que é estabelecido assim que são definidas as medidas a serem feitas, que podem ser contínuas ou discretas, exigindo o ajuste de distribuições diferentes.

Considerando a alta correlação entre as variáveis climáticas e as várias formas de matéria orgânica exportadas na coluna d'água, uma série de modelos para a predição dos níveis deste material exportado do banhado foram construídos por regressão linear múltipla, com base nas variáveis hidrometeorológicas disponíveis (tabela 5.6).

De maneira geral, a boa resposta dos modelos ($r^2 > 0,8$ e $p < 0.001$) sugere que as concentrações de matéria orgânica particulada e dissolvida podem ser estimadas pela observação de aspectos hidrometeorológicos, em especial os níveis de água observados nas lagoas Nicola, Jacaré (sub-sistema de transição-banhado) e Mangueira (sub-sistema sul) e a intensidade dos ventos. As frações tanto de matéria particulada como de matéria dissolvida respondem primordialmente ao regime hídrico (ver coeficientes parciais de regressão,

Tabela 5.6). No entanto, apesar da probabilidade (p) da regressão se mostrar elevada, estes modelos apresentam forte colinearidade com relação a algumas variáveis preditoras. Esta colinearidade é maior para as variáveis de nível d'água nas diferentes lagoas do sistema. A função de força dominante no sistema, o vento, não modificou fortemente os níveis na mesma escala de tempo de forma acentuada. A associação entre a concentração de carbono orgânico, DQO e sólidos na coluna de água e o vento pode residir nos efeitos deste sobre as principais lagoas do banhado, ou seja, um efeito local do vento que eventualmente influenciaria a concentração de matéria ou porções desta na água que deixa o sistema. Teríamos então um efeito indireto.

Assim a concentração de matéria orgânica saindo do SHT via água pode ser quantificada tendo como variáveis preditivas aspectos hidrometeorológicos deste mesmo sistema. O regime de ventos, caracteristicamente eixado NE ou SO, e as características hidrodinâmicas foram identificadas, a priori, como funções predominantemente com reflexo nas comunidades biológicas, tais como, fitoplâncton, zooplâncton, macrófitas aquáticas e peixes (Motta Marques, 2001, 2003). Ventos determinam também um regime de mistura acentuada com forte ressuspensão de sólidos (Motta Marques, 2003). Por outro lado o efeito do vento sobre a Lagoa Mangueira pode empurrar bastante água para dentro do banhado com elevação do seu nível verificado até a região do canal da Sarita, aproximadamente 2/3 do comprimento do banhado a partir da Lagoa Mangueira (Paz, 2003). A turbulência quase permanente das grandes massas de água aberta é fator importante para a saturação de oxigênio da água e efeitos na degradação da biomassa produzida.

Tabela 5.6 – Modelos de previsão da concentração de material particulado e dissolvido (total) presente no efluente do Sistema Hidrológico do Taim (2002).

		Modelo					r²	P	
DQO=	27,49	-(5,609.NIVELM)	-(0,0165.NIVELC)	+(1,361.NIVELN)	-(0,0184.PREC)	-(0,297.VENTO)	+(0,604.TEMP)	0,801	<0,001
DQO=	26,89	-(4,227.NIVELM)			-(0,0214.PREC)	+(0,0848.VENTO)	+(0,568.TEMP)	0,796	<0,001
DQO=	9,58		-(1,182.NIVELC)		-(0,0219.PREC)	+(0,630.VENTO)	+(0,792.TEMP)	0,772	<0,001
DQO=	9,42			-(0,928.NIVELN)	-(0,0237.PREC)	+(0,555.VENTO)	+(0,793.TEMP)	0,770	<0,001
TOC=	19,89	+(1,5.NIVELM)	+(1,186.NIVELC)	-(4,855.NIVELN)	-(0,00641.PREC)	-(0,225.VENTO)	-(0,0658.TEMP)	0,805	<0,001
TOC=	21,18	-(2,404.NIVELM)			+(0,00394.PREC)	-(1,257.VENTO)	+(0,0482.TEMP)	0,551	0,006
TOC=	19,21		-(2,654.NIVELC)		+(0,00315.PREC)	-(0,480.VENTO)	+(0,0113.TEMP)	0,643	0,001
TOC=	24,96			-(3,332.NIVELN)	-(0,00333.PREC)	-(0,374.VENTO)	-(0,119.TEMP)	0,778	<0,001
SOLIDOS=	423,61	+(3,694.NIVELM)	+(13,187.NIVELC)	-(100,68.NIVELN)	-(0,147.PREC)	+(28,1.VENTO)	-(2,559.TEMP)	0,865	<0,001
SÓLIDOS=	459,12	-(87,661.NIVELM)			+(0,0707.PREC)	+(3,364.VENTO)	-(0,0397.TEMP)	0,662	<0,001
SOLIDOS=	313,88		-(78,285.NIVELC)		+(0,0462.PREC)	+(27,33.VENTO)	+(0,145.TEMP)	0,748	<0,001
SOLIDOS=	438,19			-(89,015.NIVELN)	-(0,125.PREC)	+(28,416.VENTO)	-(2,709.TEMP)	0,863	<0,001

DQO – demanda química de oxigênio total; NIVELC – nível de água no ponto comportas; NIVELM – nível de água no ponto Mangueira; NIVELN – nível de água no ponto Nicola; PREC – precipitação mensal total; SÓLIDOS – sólidos totais; TEMP – temperatura da água; TOC – Carbono orgânico total; VENTO – velocidade média mensal do vento.

A combinação destes fatores primários determina a quantidade de matéria orgânica na água efluente do sistema em associação com o potencial efeito de remoção de material por ação do banhado como um grande decantador de particulados para a água vinda da Lagoa Mangueira. As lagoas Nicola e Jacaré contribuem com menor intensidade para o modelo (coeficiente de regressão parcial menor). Estas contribuições podem eventualmente mostrar que o tamanho das lagoas é importante na produção e fornecimento de matéria orgânica.

As variáveis preditivas, associadas diretamente ou indiretamente com estes fatores, são, portanto, uma simplificação, mas que permitem a representação global dos processos funcionando no SHT através de um modelo simples para o material sendo exportado via efluente.

6. CONCLUSÕES

Geralmente, em pesquisas ecológicas, é dada muito mais ênfase para o levantamento de fatores biológicos e físico-químicos enquanto fatores climáticos são considerados meros descritores da paisagem (Cardoso, 2001).

Em ecossistemas aquáticos, em especial da planície costeira gaúcha, o vento é uma variável sempre presente e é fator determinante do grau de mistura da coluna d'água e da ressuspensão do sedimento em lagoas rasas. Em banhados, variações do nível de água (hidroperíodo) como resposta a períodos de maior precipitação e aporte de água de sistemas adjacentes também podem exercer influências indiretas em variáveis de qualidade da água, seja pela diluição ou pelo acréscimo de material suspenso e dissolvido carregado pelo escoamento superficial de terras mais altas; ou ainda alterações na dinâmica das macrófitas aquáticas.

Portanto, o conhecimento integrado de uma série de variáveis que influenciam em determinado ecossistema é fundamental para uma real compreensão da dinâmica, ou seja, a interpretação de como o ambiente responde a dados fatores que são dominantes.

O estudo integrado ao longo de um ano da água que deixa o sistema via comportas evidenciou que existe uma resposta com relação ao ciclo sazonal das variáveis que descrevem o material exportado do Sistema Hidrológico do Taim. De maneira geral, houve uma redução nas concentrações destas variáveis nas estações mais frias, aspecto que pode estar intimamente relacionado a (1) uma redução da produtividade primária e decomposição em resposta a temperaturas mais baixas; às (2) oscilações dos níveis d'água no SHT que alteram as concentrações relativas do material em solução; e (3) ao regime de ventos, que geram turbulência e ressuspensão do sedimento.

A observação integrada dos diversos descritores do material transportado pelo efluente que deixa o banhado permitiu inferir ainda que diferentes frações deste material podem apresentar respostas distintas ao longo do ciclo sazonal.

A reduzida quantidade de nutrientes presentes na água drenada pelas comportas do Sistema Hidrológico do Taim pode estar relacionada a uma baixa disponibilidade destes na água em função da tipologia dos solos do sistema, levando a uma rápida ciclagem e incorporação destes componentes à biomassa vegetal. Tal aspecto indica que este pode ser um fator limitante da produção do próprio banhado e do corpo de água receptor (Lagoa Mirim).

Grande parte da matéria exportada pelo efluente encontra-se na forma dissolvida (~80%). Esta relação entre tamanhos de partículas pode estar associada com a dinâmica da água dentro do banhado que deve funcionar como uma bacia de alta rugosidade em virtude da grande concentração de macrófitas emergentes, promovendo o amortecimento da turbulência e sedimentação do material particulado de maior tamanho.

Neste sentido, os banhados do Sistema Hidrológico do Taim atuam predominantemente como reservatórios de nutrientes solúveis e material particulado, enquanto que o material dissolvido oriundo de processos de senescência, morte e decomposição da biomassa vegetal que se faz bastante presente na coluna d'água é exportado em grandes quantidades para os sistemas lacunares adjacentes (Lagoa Mirim).

Os diferentes métodos para determinação da concentração de material orgânico e inorgânico, dissolvido e particulado presentes na coluna d'água empregados nesta pesquisa se mostraram complementares e sensíveis a diferentes frações deste material. Entretanto, o comportamento similar de cada uma destas porções, permitiu caracterizá-las como redundantes. Dependendo do foco de estudo que se pretende conduzir em pesquisas ecológicas, em especial aquelas de longa duração, a escolha de métodos que demandam menores recursos se torna mais adequada, tendo em vista que não se verificam perdas das informações que se pretendem buscar.

7. RECOMENDAÇÕES

A importância dos diversos fatores citados sobre a dinâmica do compartimento de detritos, especialmente o hidroperíodo, e o conhecimento de que o Sistema Hidrológico do Taim transporta grandes quantidades de água e matéria para a Lagoa Mirim, ressalta a necessidade de um gerenciamento adequado do referido sistema. Para tanto, tornam-se fundamentais estudos que procurem identificar a oscilação natural do nível da água no banhado do Taim, e como as ações antrópicas na região são capazes de impactá-la.

A grande distribuição de macrófitas aquáticas ao longo do Sistema Hidrológico do Taim figura como um dos principais fatores determinantes de uma série de processos ocorrentes neste ecossistema. Neste sentido, um estudo intensivo acerca da dinâmica da vegetação dentro do banhado contribuirá significativamente para sua compreensão e futuro gerenciamento.

Estudos integrados entre os descritores físicos (climáticos, morfológicos, hidrodinâmicos) e os descritores biogeoquímicos dos corpos hídricos são pré-requisitos para o amplo entendimento dos processos que ocorrem nestes ecossistemas. Partindo desta idéia, descrições físicas do meio ambiente são de considerável importância para o estabelecimento de ligações funcionais e devem ser conduzidas em paralelo com os demais descritores em pesquisas ecológicas.

Pesquisas pertinentes poderiam ainda ser realizadas no banhado do Taim com vistas a avaliação do tempo de residência de compostos orgânicos e nutrientes na água e na biomassa vegetal, questões bastante relevantes para possibilitar a análise de riscos ambientais e para o uso de banhados construídos no tratamento de águas residuais.

Uma série estudos recomendados já estão sendo conduzidos dentro do programa do PELD (Pesquisas Ecológicas de Longa Duração) – Sistema Hidrológico do Taim (sítio 7), do qual esta pesquisa faz parte, e as conclusões advindas deste programa trará esclarecimentos relevantes acerca do funcionamento deste tipo de ecossistema.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, R. de C. Fatores ecológicos, concentração de clorofila α e feofitina em cinco lagos do Vale do Rio Doce, MG: Um estudo comparativo. São Carlos, PPG Ecologia e recursos Naturais, UFSCAR, 1981. 220 p.

ALLEN, A. Are wetlands getting smaller ? – Multiparameter delineation in Massachusetts. Wetlands Bulletin, v.16, n.2, 1999. p.10-11.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for Examination of water and Wastewater. 18 ed. Washington, 1992. 1268 p.

BARKER, J.R.; BAUMGARDNER, G.A.; TURNER, D.P.; LEE, J.J. Carbon dynamics of the conservation and wetland reserve programs. Journal of Soil and Water Conservation, v.51, n.4, 1996. p.340-346.

BECKER, V. Estrutura de tamanho da comunidade fitoplanctônica em uma lagoa rasa subtropical (Lagoa Itapeva, sul do Brasil). PPG Ecologia, UFRGS, 2002.

BRAGA, C.Z.F. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, transparência e profundidade da água na Lagoa Aruama, RJ. Curso de Pós-graduação em Geociências do INPE. São José dos Campos, 1999.

BRIX, H. Do Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? In: Water Science Technology. Oxford: Elsevier Vol. 35 n.5, 1997. p. 71- 78.

BUCHMANN, F.S., Banhado do Taim e Lagoa Mangueira: Evolução holocênica da paleoembocadura da Lagoa Mirim. Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do Título Mestre em Geociências, 1997. 155 p.

BURGER, M.I. Situações e Ações Prioritárias para a Conservação de Banhados e Áreas Úmidas da Zona Costeira. In. Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação de Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha. Base de Dados Tropical (BDT), 1999. www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/banhado

CARDOSO, L. S. Variações da estrutura plânctonica da Lagoa Itapeva (Sistema Lacunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica. Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFRGS. Porto Alegre, 2001.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 1994. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, 1993. 150 p.

CORBETT, E.S.; LYNCH, J.A. Management of streamside zones on municipal watersheds. In: USDA. Riparian ecosystems and their management. USDA: Forest Service, 1985. p.187-190.

COWARDIN, L.M.; CARTER, V.; GOLET, F.C.; LAROE, E.T. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Washington: US Fish and Wildlife Service, 1979. 131p.

CRAFT, C.B.; CASEY, W.P. Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia. *Wetlands* Vol. 20 n. 2, 2000. p. 323-332.

CROSSETTI, L. O.; CALLEGARO, V.L.M.; MOTTA MARQUES, D.M.L.; DA SILVA, S.M.A.; WERNER, V.R.; ROSA, Z.M. Estrutura da comunidade fitoplanctônica no Sistema Hidrológico do Taim (PELD – Sítio 7) em função do hidroperíodo. Congresso Brasileiro de Limnologia. Resumos, 2003.

DÁBAKK, E., NILSSON, M.; GELADI P, SVANTE, W; and RENBERG, I.: Inferring lake water chemistry from filtered seston using Nir Spectrometry. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 5, 1999. p.1666 –1672.

DANOVARO, R. FABIANO, M.: Seasonal changes in quality and quantity of food available for benthic suspension-feeders in the Golfo Marconi (North-western Mediterranean). *Estuarine Coastal and Shelf Science* n.44, 1997. p 723–736.

DE LA CRUZ A. A. Primary production processes: summary and recommendations. In: GOOD, R.E.; WHIGHAM, D.F.; SIMPSON, R.L. (eds.). Freshwater wetlands: ecological processes and management potential. San Diego: Academic Press, 1977. p.79-86.

DI BERNARDO, L. Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento. Rio de Janeiro, ABES, 1995. 140 p.

ELDER, J.F.; RYBICKI, N.B.; CARTER, V.; WEINTRAUB V. Sources and yields of dissolved carbon in northern Wisconsin stream catchments with differing amounts of peatland. Wetlands Vol. 20 n.1, 2000. p. 113- 125.

ESTEVES, F. de A. Fundamentos da limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

ESTEVES, F. de A; ISHII, I.H.; CAMARGO, A.F.M. Pesquisas limnológicas em 14 lagoas do estado do Rio de Janeiro. In: Restingas: origem, estrutura e processos. L.D. de Lacerda (org). Niterói, CEUFF, 1984. p. 443-454.

FEDERAL INTERAGENCY COMMITTEE FOR WETLAND DELINEATION. Federal manual for identifying and delineating jurisdictional wetlands. Washington: U.S. Corps of Engineers/U.S. Environmental Protection Agency/ U.S. Fish and Wildlife Service/ U.S.D.A. Soil Conservation Service, 1989. 76p.

FERREIRA, C.J.S.; CASTILHO, M.V. de; HASENAK, H.; FERRARO, L.W. Atlas digital da Estação Ecológica do Taim. Boletim Gaúcho de Geografia, n.20, 1995. p. 146- 147.

GILMAN, K. Hydrology and wetland conservation. Chichester: J.Wiley, 1994. 101p.

GIOVANNINI, E.; MOTTA MARQUES, D.M.L. da. Sistemas de classificação de terras úmidas baseado em hidrologia, geomorfologia e comunidades de macrófitas aquáticas. In: MOTTA MARQUES, D.M.L. da (coord.) Site 7 – Sistema hidrológico do Taim – Relatório. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Fundação Universidade de Rio Grande/Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2001. p.219-279.

GOMES, A. M. B. Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seu arredores. Rio Grande do Sul. Editora da UFRGS, 1987. 82 p.

GOSSELINK, J.G.; TURNER, R.E. The role of hydrology in freshwater wetland system. In: GOOD, R.E.; WHIGHAM, D.F.; SIMPSON, R.L. (eds.). Freshwater wetlands: ecological processes and management potential. San Diego: Academic Press, 1977. p.63-78.

GRANGE N.; ALLANSON B.R. The influence of freshwater inflow on the nature, amount and distribution of seston in estuaries of the Eastern Cape, South Africa. Estuarine Coastal and Shelf Science 40,1995. p. 403–420.

HAMMER, D. Creating freshwater wetlands. Boca Raton: Lewis, 1996. 406p.

HILEY, P.D. The reality of sewage treatment using wetlands. Water Science & Technology. Oxford: Elsevier. V. 32, n.3, 1994 p.329-338

HORNE, A.J. & C.R. GOLDMAN, C.R. Limnology, 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 1994.

IBAMA. Guia de Chefe: Manual de Apoio ao Gerenciamento de Unidades de Conservação Federais, 2000. IBAMA/GTZ. www2.ibama.gov.br/unidades/quiadechefe.

IBGE. Levantamento de Recursos Naturais. Projeto Radam Brasil. Rio de Janeiro, 1986.

IRGANG, B.E. Comunidades de macrófitas aquáticas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul – Brasil: um sistema de classificação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Programa de Pós-graduação em Botânica, 1999. 149p.

IRGANG, B.E; GASTAL Jr., C.V. de S. Macrófitas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996. 290p.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. Treatment wetlands. Boca Raton: Lewis, 1996. 893p.

KLAMT, E.; KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Faculdade de Agronomia/Departamento de Solos, 1985. 42p.

KLAP, V.A.; BOON, J.J.; HEMMINGA, M. A.; SOELEN, J. van. Assessment of the molecular composition of particulate organic matter exchanged between the Saeftinghe salt marsh (southwestern Netherlands) and the adjacent water system. Marine Chemistry 54 ,1996. p. 221- 243.

KLEEREKOPER, H. Introdução ao Estudo da Limnologia. 2.ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS,1990. 329 p.

KNIGHT, R.L. Wildlife and public use benefits of treatment wetlands. Water Science & Technology. Oxford: Elsevier. v. 35, n.5, 1997. p.35-43.

KNOPPERS, B.A.; MOREIRA, P.F. Material em suspensão e sucessão fitoplanctônica na Lagoa de Guarapina-RJ. Acta Limnol. Brasil, 1990. p. 291-317.

LEWIS Jr., W.M. (coord.). Wetlands: characteristics and boundaries. Washington: National Academy of Sciences, 1995. 307p.

MACKERETH, F.J.H., HERON, J., TALLING, J.F., Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists. Freshwater Biological Association, 1978. Second Impression 1989.

MARGALEF, R. Limnologia. Barcelona: Omega, 1983. 1010 p.

MCCUSKER E. M. A., OSTROM P.H., OSTROM N. E. et al: Seasonal variation in the biogeochemical cycling of seston in Grand Traverse Bay, Lake Michigan. Organic Geochemistry 30 ,1999. p.1543-1557

MITSCH, W.J.; GOSELINK, J.G. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. 722p.

MITSCH, W.J.; GOSELINK, J.G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological Economics, v.35, 2000. p.25-33.

MOTTA MARQUES, D.M.L. da; IRGANG, B.E. Hidroperíodo e comportamento biológico do banhado do Taim. In: TUCCI, C.E.M. (coord.). Comportamento hidrológico do banhado do Taim. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. p.50-81.

MOTTA MARQUES, D.M.L. da; VILLANUEVA A.O.N. Regime hidrológico do banhado do Taim e sua conservação. ABRH, 2001. p.22- 26.

MOTTA MARQUES, D.M.L. da; Sistema Hidrológico do Taim - Relatório Outubro 2000 - Outubro 2001. IPH – CNPq. Porto Alegre, 2001. 176p.

MOTTA MARQUES, D.M.L. da; TUCCI, C.E.M.; CALAZANS, D.; CALLEGARO, V.L.M.; VILLANUEVA, A.O.N. O sistema hidrológico do Taim – site 7. In: SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. (eds.). Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais/Fundação Universidade do Rio Grande, 2002. p.125-141.

MOTTA MARQUES, D. M. L. da; Sistema Hidrológico do Taim - Relatório Outubro 2002-Novembro 2003. IPH – CNPq. Porto Alegre, 2003.

NEIFF, J.J. Aspectos conceptuales para la evaluación ambiental de tierras húmedas continentales de América del Sur. In: Seminário Regional de Ecologia, 8. São Carlos. Anais Vol.8 ,1997. p. 1- 18.

NEIFF, J.J.; IRIONDO, M.H.; CARIGNAN, R. Large tropical South American wetlands: An overview. In: Proceedings of int. workshop: The ecology and management of aquatic terrestrial ecotones: Seattle. Anais. USA, 1994. p. 156-165.

NELDER, J. A., WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. J. R. Stat. Soc., v.1, n.35, 1972. p.370-384.

NEUE, H.U.; GAUNT, J.L.; WANG, Z.P.; BECKER-HEIDMANN, P.; QUIJANO C. Carbon in tropical wetlands. Geoderma 79, 1997. p.163- 185.

NOVITZKI, R.P. Emap-wetlands: a sampling design with global application. Vegetatio, v.118, n.1-2, 1995. p.171-184.

PAZ, A.R. Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 134p.

PIELOU, E.C. The interpretation of ecological data; a primer on classification and ordination. New York, Wiley, 1984. p. 133-201.

PILLAR, V.D. Multiv; Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling. User's Guide v.2.1., 2001. 42 p.

PORTO, M.L.; DILLENBURG, L.R. Manual ilustrado da flora da Estação Ecológica do Taim – Parte 1. In: Congresso Nacional de Botânica, 34. Anais. Porto Alegre: SBT, 1983.

RAMSAR. The Ramsar Library. Wetland functions and values. Gland: The Ramsar Convention Bureau, 2001. (Booklet).

RAMSAR. The Ramsar Library. Information sheet on Ramsar wetlands. Gland: The Ramsar Convention Bureau, 1971.

READER, R.J. Primary production in northern bog marshes. In: GOOD, R.E.; WHIGHAM, D.F.; SIMPSON, R.L. (eds.). Freshwater wetlands: ecological processes and management potential. San Diego: Academic Press, 1977. p.53-62.

SMAAL C.; HAAS H.A. Seston dynamics and food availability on mussel and cockle beds - Estuarine Coastal and Shelf Science 45, 1997. p.247-259.

SMITH, R.D. A conceptual framework for assessing the functions of wetlands. Vicksburg: US Army Engineer Waterway Experiment Station, 1993. 27p.

STEINBLUNS, I.J.; FROELICH, H.A.; LYONS, J.K. Designing stable buffer strips for stream protection. Journal of Forestry, v.82, n.1, 1984. p.49-52.

TABACCHI, E.; LAMBS, L.; GUILLOY, H.; PLANTY TABACCHI, A.M.; MULLER, E.; DECAMPS, H. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. Hydrological Processes, v.14, n.16/17, 2000. p.2959-2976.

TINER, R.W. The primary indicators method – a practical approach to wetland recognition and delineation in the United States. Wetlands, v.13, n.1, 1993. p.50-64.

TINER, R.W. Wetlands are ecotones: reality or myth. In: GOPAL, B.; HILLBRICHT, A.; WETZEL, R.G. (eds.). Wetlands and ecotones. New Delhi: National Institute of Ecology, 1993. p.1-15.

TUCCI, C.E.M. (coord.). Comportamento hidrológico do banhado do Taim. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996.

USDA/NRCS DEPARTMENT OF AGRICULTURE/NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Field indicators of hydric soils in the United States. a guide for identifying and delineating hydric soils, version 4.0 (march 1998). HURT, G.W.; WHITED, P.M.; PRINGLE, R.F. (eds.). Fort Worth: USDA/NRCS, 1998. 30p.

USDA/NRCS DEPARTMENT OF AGRICULTURE/NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices. USDA/FISRWG, 1998. 637p.

VILLANUEVA, A.O.N. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1997.125p.

WAITE, T.D. Principles of water quality. Water Resources and Water Quality Management). Orlando, Academic Press, Inc., 1984. 289p.

WATT, K.M.; GOLLADAY, S.W. Organic matter dynamics in seasonally inundated forested wetlands of the gulf coastal plain. Wetlands, Vol. 19 n. 1, 1999. p. 139-148

WEN, Y.H. Contribution of bacterioplankton, phytoplankton, zooplankton and detritus to organic seston carbon load in a Changjiang floodplainj lake (China). Arch. Hidrobiol. 126, 2, 1992. p. 213- 238.

WEN, Y.H. Seston in a seasonally flooded lake of the central Changjiang River (China). Hidrobiologia 242, 1992. p.95-104.

WESTLAKE, D.F.; KVET, J.; SZCZEPANSKI, A. The Production Ecology of Wetlands. The IBP Synthesis. Cambridge University Press, 1998. 568 p.

WETZEL, R. G., and RICH, P. H. Carbon in freshwater systems. in G. M. Woodwell and E. V. Pecan, eds. Carbon and the Biosphere. Proceedings of the 24th Brookhaven Symposium in Biology, 1973. p 241-263.

WETZEL, R.G. Limnologia - 2º edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

WHIGHAM, D., PITTEK, M., HOFMOCKEL, K.H., JORDAN, T., PEPIN, A. L.
Biomass and Nutrient Dynamics in Restored Wetlands on the outer Coastal Plain
of Maryland, USA. Wetlands 22, 3, 2002. p. 562-574.