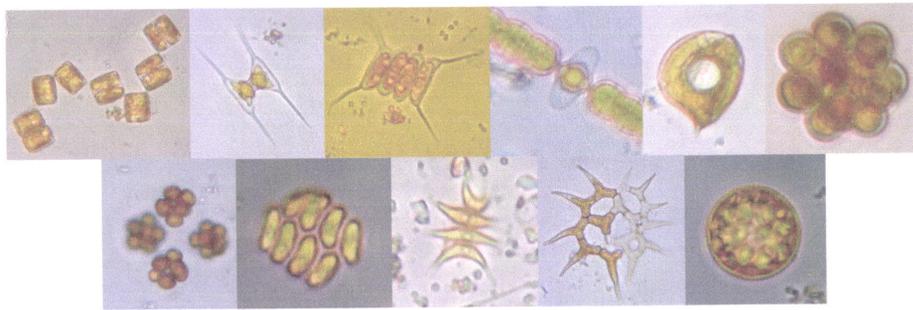


Mestrado em Conservação e Reabilitação de Águas Interiores

Universidade de Évora

**ESTUDO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÓNICA EM  
OITO ALBUFEIRAS DE PORTUGAL CONTINENTAL E SUA  
RELAÇÃO COM O ESTADO TRÓFICO**



**Susana Maria Martins Nunes**

Tese orientada pela Professora Doutora Maria Manuela Morais

*“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”*

2007

Mestrado em Conservação e Reabilitação de Águas Interiores

Universidade de Évora

ESTUDO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÓNICA EM  
OITO ALBUFEIRAS DE PORTUGAL CONTINENTAL E SUA  
RELAÇÃO COM O ESTADO TRÓFICO

Susana Maria Martins Nunes



Tese orientada pela Professora Doutora Maria Manuela Morais

169 2481

*"Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri"*

# ESTUDO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÓNICA EM OITO ALBUFEIRAS DE PORTUGAL CONTINENTAL E SUA RELAÇÃO COM O ESTADO TRÓFICO

Susana Nunes

## RESUMO

O principal objectivo deste estudo foi classificar o estado trófico de oito albufeiras de Portugal através da determinação do índice trófico de Carlson, da abundância relativa dos grupos fitoplanctónicos e da relação azoto/fósforo. As amostragens realizaram-se em quatro épocas durante 2006, nas albufeiras: Alto Lindoso, Caniçada, Agueira, Fronhas, Castelo de Bode, Maranhão, Monte da Rocha e Santa Clara. Segundo o índice trófico de Carlson, Agueira e Maranhão são eutróficas inferiores, Fronhas e Monte da Rocha são mesotróficas, Caniçada é mesotrófica inferior e Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara são oligotróficas superiores. Os grupos fitoplanctónicos dominantes no Inverno foram as bacilariófitas, na Primavera as cianobactérias e criptófitas, no Verão as cianobactérias e no Outono as cianobactérias, bacilariófitas e criptófitas. No Inverno, Primavera e Verão o nutriente limitante foi o fósforo. No Outono, em Santa Clara o nutriente limitante foi o azoto, em Agueira foi o fósforo e para as restantes albufeiras foi inconclusivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estado trófico, albufeiras, fitoplâncton, clorofila *a*, azoto, fósforo, transparência de *Secchi*.

# STUDY OF PHYTOPLANKTON COMMUNITY IN EIGHT RESERVOIRS OF PORTUGAL CONTINENTAL AND ITS RELATION WITH TROPHIC STATE

## ABSTRACT

The main objective of this study was to classify the trophic state of eight Portuguese reservoirs, through the Carlson trophic index, the relative abundance of the fitoplanktonic groups and the ration nitrogen/phosphorus. The reservoirs (Alto Lindoso, Caniçada, Aguieira, Fronhas, Castelo de Bode, Maranhão, Monte da Rocha and Santa Clara) were sampled in four seasons in 2006. According to Carlson trophic index, Aguieira and Maranhão were classified as low eutrophic, Fronhas and Monte da Rocha as mesotrophic, Caniçada as low mesotrophic and Alto Lindoso, Castelo de Bode and Santa Clara as high oligotrophic. The dominant phytoplanktonic groups in Winter were bacillariophyta, in Spring were cyanophyta and cryptophyta, in Summer cyanophyta and in Autumn cyanophyta, bacillariophyta and cryptophyta. In Winter, Spring and Summer the limitant nutrient was phosphorus. In Autumn, the limitant nutrient was nitrogen in Santa Clara, phosphorus in Aguieira and undefined to the others reservoirs.

**KEY-WORDS:** Trophic state, reservoirs, phytoplankton, chlorophyll *a*, nitrogen, phosphorus, *Secchi* transparency.

## INTRODUÇÃO

A água doce surge como um dos recursos mais sensíveis devido à sua importância para a manutenção da vida. No entanto, os actuais padrões de desenvolvimento das sociedades modernas, conjuntamente com o crescimento demográfico exponencial, conduzem a uma procura global deste recurso finito (WETZEL, 1993). A necessidade de gestão da água pelas sociedades modernas, juntamente com as necessidades energéticas sempre constantes, determinou a execução de obras para retenção de volumes consideráveis de água de rios, alterando grandemente o seu natural escoamento e perda para o mar. Resultando, assim, na construção de açudes ou barragens em vários locais de quase todos os principais rios. As grandes reservas de água ocasionaram profundas alterações, quer na paisagem, quer no modo de vida das populações (CRAVEIRO, 1994).

Em Portugal, as disponibilidades hídricas são baixas devendo-se este facto às características do clima mediterrânico caracterizado por pluviosidade concentrada e por vezes reduzida, elevada evapotranspiração e um escoamento desequilibrado com intermitência dos sistemas lóticos nos meses em que a temperatura é mais elevada (SEQUEIRA, 1998).

As massas de água armazenadas em albufeiras tendem naturalmente para um aumento progressivo na concentração de nutrientes, o que associado à acção do Homem provoca uma aceleração do processo de eutrofização com a conseqüente degradação da qualidade da água (MARGALEF, 1983). A eutrofização de um ecossistema aquático resulta do aumento da concentração de nutrientes, em particular fósforo e azoto. Este processo interfere nas características físicas e químicas da água e, conseqüentemente, ocorrem profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas (FERREIRA *et al.*, 2005). As respostas provocadas pelo enriquecimento em nutrientes, tais como, elevada biomassa algal, crescimento denso de macrófitas, transparência reduzida e reduzidas concentrações de oxigénio dissolvido no *hipolimnium*, são indícios de eutroficação que interferem com a normal utilização da água. Deste modo, a gestão da água deve ter em consideração os objectivos da qualidade da água, em relação à utilização que se pretende dar a este recurso (VOLLENWEIDER & KEREKES, 1982). Com a entrada em vigor da Directiva-Quadro da Água (DQA, 2000/60/CE), a definição de qualidade da água em função dos usos foi substituída pela criação de um sistema uniforme, que permite a adaptação de objectivos gerais de qualidade às condições ambientais específicas de cada região hidrográfica, surgindo o conceito de estado ecológico que irá possibilitar uma avaliação da qualidade ecológica das águas superficiais segundo este conceito (BERNARDINO & RODRIGUES, 2000). Os elementos biológicos, nos quais se inclui o fitoplâncton, passam a assumir um papel preponderante na avaliação da qualidade da água.

O grupo das cianobactérias reveste-se de particular importância, devido à sua capacidade de adaptação a alterações ambientais. Estes organismos, em resultado da sua actividade metabólica

---

e sob determinadas condições ambientais (nível elevado de fósforo, elevada intensidade luminosa, temperaturas elevadas, ausência de vento), tornam-se produtores de toxinas que afectam as características organolépticas da água e que podem ter efeitos nefastos a nível de saúde pública (ARAÚJO, 1994 *in* CASACA, 2000).

A realização de estudos limnológicos comparativos entre massas de águas lénticas reveste-se de grande importância porque permitem realizar uma descrição limnológica dos sistemas, compreender os processos de eutroficação, as exigências e sazonalidade das comunidades de plâncton e registar os efeitos na massa de água de diferenças morfométricas ou de outras características peculiares do sistema (PÁDUA, 2001). A caracterização da comunidade fitoplanctónica, bem como a sua resposta a estímulos produzidos por alterações nas variáveis ambientais, reveste-se de especial importância nos ecossistemas aquáticos de características lénticas (LE COHU *et al.* 1991 *in* NEGRO, 1994). Por este motivo, a gestão da qualidade da água armazenada em albufeiras deve ter em consideração a sua caracterização físico-química e o estudo da dinâmica temporal das comunidades fitoplanctónicas.

O presente estudo tem como principal objectivo classificar o estado trófico de oito albufeiras de Portugal (Alto Lindoso, Caniçada, Agueira, Fronhas, Castelo de Bode, Maranhão, Monte da Rocha e Santa Clara), através da determinação do índice trófico de Carlson, da abundância relativa dos grupos fitoplanctónicos e da razão azoto/fósforo. Complementarmente, foram caracterizadas as comunidades fitoplanctónicas e avaliado o papel das variáveis ambientais na estrutura destas comunidades.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Descrição da área de estudo*

As albufeiras estudadas pertencem a dois tipos distintos definidos pelo “Geographical Intercalibration Group” (GIG) no âmbito do Exercício de Intercalibração para as albufeiras, estabelecido pela Directiva Quadro da Água: o tipo silicioso de zonas húmidas (*Siliceous “Wet” areas*) e o tipo silicioso de zonas áridas (*Siliceous “Arid” areas*). O tipo silicioso de zonas húmidas (*Siliceous “Wet” areas*) abrange albufeiras localizadas no norte e centro de Portugal. Este tipo é caracterizado por albufeiras de dimensões superiores a 0,5 km<sup>2</sup>, com profundidade média superior a 15m e geologicamente siliciosas. Encontram-se localizadas em zona húmidas com uma precipitação média anual superior a 800 mm e temperatura média anual inferior a 15 °C, possuindo tempos de residência baixos (inferiores a 7 meses). O principal uso destas albufeiras é produção de hidroenergia. Este tipo engloba as albufeiras do Alto Lindoso, Caniçada, Agueira, Fronhas e Castelo de Bode.

---

O tipo silicioso de zonas áridas (*Siliceous "Arid" areas*) engloba as albufeiras localizadas a sul de Portugal. Este tipo, assim como o anterior, é caracterizado por albufeiras de dimensões superiores a 0,5 km<sup>2</sup>, com profundidade média superior a 15m, e geologicamente siliciosas. As albufeiras localizam-se em zonas áridas com uma precipitação média anual inferior a 800 mm e temperatura média superior a 15 °C, possuindo tempos de residência elevados (superiores a 7 meses). Estas albufeiras destinam-se para abastecimento populacional e para a agricultura (rega). Este tipo engloba as albufeiras do Maranhão, Monte da Rocha e Santa Clara. Na figura 1 encontra-se a distribuição geográfica das albufeiras estudadas.

Na tabela 1, encontram-se sumariadas, as principais características morfométricas das oito albufeiras estudadas.



Figura 1. Localização geográfica das albufeiras estudadas segundo a tipologia definida.

### *Procedimento de Amostragem e Análise Laboratorial*

As amostragens foram realizadas em quatro períodos do ano (Inverno, Primavera, Verão e Outono), entre Fevereiro e Novembro de 2006. O local de amostragem situou-se na zona mais profunda das albufeiras seleccionadas (Alto Lindoso, Caniçada, Agueira, Fronhas, Castelo de Bode, Maranhão, Monte da Rocha e Santa Clara). Para as análises de fitoplâncton, foram recolhidas sub amostras, com o auxílio de uma garrafa de *Van Dorn* de 3L de capacidade, em cada metro da zona eufótica, para perfazer uma amostra final integrada. A zona eufótica foi determinada com um disco de *Secchi* (WETZEL, 1983) de 20cm de diâmetro. A caracterização da comunidade fitoplanctónica foi realizada com base na identificação e quantificação das espécies presentes; complementarmente foi determinada a concentração de clorofila *a* (indicador de biomassa algal). As amostras foram conservadas em solução ácida de Lugol e quantificadas pelo método de UTERMÖHL (1958). A identificação e quantificação dos grupos fitoplanctónicos foram efectuadas no microscópio óptico de inversão (ampliação de 400x). O método utilizado para a determinação da clorofila *a* está descrito em RECKERMANN (2000). A concentração de clorofila *a* foi calculada recorrendo à equação monocromática de LORENZEN

Características	ALTO DO LINDOSO		CANIÇADA		AGUIEIRA		FRONHAS		CASTELO DE BODE		MARANHÃO		MONTE DA ROCHA		SANTA CLARA	
Distrito	Viana do Castelo	Braga	Coimbra	Coimbra	Santarém	Portalegre	Beja	Beja								
Concelho	Porto da Barca	Vieira do Minho	Penacova	Arganil	Tomar	Avis	Ourique	Odemira								
Linha de Água	Rio Lima	Rio Cávado	Rio Mondego	Rio Alva ou Rib. da Fervença	Rio Zázere	Rib.º da Reia ou de Seda	Rio Sado	Rio Mira								
Bacia Hidrográfica	Lima	Cávado	Mondego	Mondego	Tejo	Tejo	Sado	Mira								
Coordenadas	41° 52' 15" N 8° 12' 18" W	41° 39' 8" N 8° 14' 5" W	40° 20' 34" N 8° 12' 10" W	40° 14' 29" N 8° 9' 28" W	38° 52' 42" N 8° 19' 24" W	39° 0' 48" N 7° 59' 20" W	37° 44' 8" N 8° 17' 38" W	37° 30' 56" N 8° 28' 23" W								
Ano entrada funcionamento	1992	1955	1981	1985	1951	1957	1972	1988								
Altura da Barragem (m)	110	76	89	62	115	55	55	86								
Capacidade Total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	390000	169300	423030	62100	1095000	205400	102760	485000								
Capacidade Útil (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	358800	147900	216030	42500	902500	180900	97760	240300								
Perímetro (km)	68	80	200	22	380	212	--	--								
Principais Utilizações	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico	Hidroelétrico
			Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal	Abastecimento Municipal

Fonte: INAG, 2007

Tabela 1. Características morfológicas das albufeiras.

(1967). Em paralelo, foram colhidas amostras de *epi*-, *meta*-, e *hipolimnium* para posteriores análises dos parâmetros químicos (azoto total, fósforo total, nitratos, nitritos e amónia). O método de análise utilizado para o fósforo total (4500 – P-E., A.P.H.A., 1988), nitratos (4500 – NO<sub>3</sub>-E., A.P.H.A., 1988), nitritos (4500 – NO<sub>2</sub>-D., A.P.H.A., 1988), e amónia (4500 – NH<sub>3</sub>-F., A.P.H.A., 1988), foi o método da espectrofotometria de absorção molecular. O azoto total resultou do cálculo da soma entre o azoto *kjeldahl* (4500 – N<sub>org</sub>, A.P.H.A., 1988), e os nitratos. Os parâmetros temperatura da água, condutividade, pH, oxigénio dissolvido e percentagem de saturação do oxigénio, foram medidos em cada metro da zona eufótica, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica Turo T-611.

### **Análise de dados**

A caracterização do estado trófico baseou-se no índice do estado trófico de CARLSON (1977). Para a determinação deste índice utilizou-se as concentrações de fósforo total (TP) em µg/L, as concentrações de clorofila *a* (Chl *a*) em µg/L e a profundidade do disco de *Secchi* (SD) em metros. Este índice baseia-se na existência de uma relação directa entre a transparência da água, a concentração de clorofila *a* e o fósforo disponível para o crescimento das populações fitoplanctónicas (CARLSON, 1977). A escala deste índice varia entre 0 (ultra-oligotrófico) a 100 (hipereutrófico), sendo que os valores mais altos indicam condições de elevada produtividade. O estudo da razão azoto/fósforo foi feito com base nas formas totais destes elementos.

Com o objectivo de resumir o conjunto de dados, identificando os gradientes temporais e espaciais, e avaliar quais as variáveis associadas com a variação da abundância das espécies fitoplanctónicas, utilizou-se a Análise de Correspondência Canónica (ACC) (TER BRAAK, 1986). Foi efectuada uma matriz com variáveis abióticas e outra com as densidades das espécies fitoplanctónicas existentes nas amostras. As abundâncias específicas foram logaritimizadas ( $x' = \log(x+1)$ ), por forma a padronizar os dados. No processamento da ACC, utilizou-se o programa Canoco (TER BRAAK, 1988) para produzir uma ordenação com vários eixos, no qual a distribuição das espécies é representada por pontos, enquanto que as variáveis ambientais são representadas por setas indicando a direcção do seu gradiente máximo, sendo o comprimento da seta proporcional à correlação da variável com os eixos (SANTOS *et al*, 2000). A análise multivariada dos resultados foi efectuada no programa Canoco versão 4.5, tendo sido uma análise canónica de correspondência (ACC) para a ordenação dos parâmetros físico-químicos e fitoplanctónicos.

---

## RESULTADOS

### *Avaliação do estado trófico*

Segundo o índice trófico de CARLSON (1977), as albufeiras da Agueira e do Maranhão foram classificadas no estado eutrófico inferior, uma vez que estão na zona de transição ente o mesotrófico e o eutrófico. As albufeiras de Fronhas e do Monte da Rocha foram classificadas no estado de mesotrofia, enquanto que Caniçada foi classificada como mesotrófica inferior pois encontra-se na transição entre o oligotrófico para o mesotrófico. Por fim, Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara localizam-se na transição entre oligotrófico e mesotrófico, sendo classificadas como oligotróficas superiores. A figura 2 apresenta as variações sazonais das três componentes (clorofila *a*, transparência de *Secchi* e fósforo) do índice trófico de CARLSON (1977), enquanto que, a figura 3 apresenta as variações sazonais da clorofila *a*, transparência de *Secchi* e fitoplâncton total nas oito albufeiras estudadas.

Na albufeira do Alto Lindoso, a componente clorofila *a* (TSI(Chl)) do índice trófico de Carlson, apresentou uma variação entre 22 e 39, sendo que, ao longo das quatro campanhas de amostragem, a concentração de clorofila *a* variou entre 0,4 e 2,4  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo ao Inverno. Em relação ao fitoplâncton total, verificou-se que os valores mais elevados foram registados no Verão. Em relação, à componente de transparência (TSI(Ds)), do índice trófico de Carlson, verificou-se uma variação entre 37 e 44 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 3 e 5 m, correspondendo o valor máximo ao Inverno e à Primavera. Para a componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 39 a 60, sendo que, a concentração mínima registada foi 11  $\mu\text{gL}^{-1}$  e a máxima 48  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Inverno e ao Verão, respectivamente.

Na albufeira da Caniçada, a componente clorofila *a* (TSI(Chl)) do índice trófico de Carlson, apresentou uma variação entre 34 e 46, ao longo das quatro campanhas de amostragem, variando a concentração de clorofila *a* entre 1,4 e 4,7  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo à Primavera. Os valores obtidos de fitoplâncton total encontram-se mais elevados no Inverno. A componente de transparência (TSI(Ds)) apresentou uma variação entre 40 e 44 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 3 e 4 m, correspondendo o valor máximo ao Inverno e ao Verão. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 37 a 59, sendo que, o valor mínimo registado foi 10  $\mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo 46  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Inverno e à Primavera, respectivamente.

Na albufeira da Agueira, os valores relativos à componente clorofila *a* (TSI(Chl)) apresentaram uma variação entre 41 e 68, sendo que, ao longo das quatro campanhas de amostragem, a concentração de clorofila *a* variou entre 2,8 e 44,3  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo ao Verão. Deste modo, verificou-se que os valores de fitoplâncton total mais elevados também se

situam no Verão (Fig. 2). A componente de transparência (TSI(Ds)) apresentou uma variação entre 44 e 54, tendo sido registado uma amplitude de profundidade entre 1,5 e 3 m, correspondendo o valor máximo ao Inverno e à Primavera. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 24 a 65, sendo que, o valor mínimo registado foi 4  $\mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo foi 68  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Verão e à Primavera, respectivamente.

Para a albufeira de Fronhas, os resultados da componente clorofila *a* (TSI(Chl)) variaram entre 41 e 56, sendo que, a concentração de clorofila *a* oscilou entre 2,9 e 13,6  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo ao Outono, enquanto que, o fitoplâncton total apresentou os seu máximo na Primavera. A componente de transparência (TSI(Ds)) variou entre 40 e 54 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade entre 1,5 e 4 m, correspondendo o valor máximo à Primavera e o valor mínimo ao Outono. Para a componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 17 a 63, sendo, o valor mínimo de concentração registado 11  $\mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo 60  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Inverno e à Primavera, respectivamente.

A albufeira de Castelo de Bode, para a componente clorofila *a* (TSI(Chl)), apresentou uma variação na entre 22 e 39, sendo que, a concentração de esta componente variou entre 0,4 e 2,4  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo à Primavera. O fitoplâncton total atingiu valores máximos também nesta estação. A componente de transparência (TSI(Ds)) apresentou uma variação entre 33 e 60 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 1 e 6,5m, correspondendo o valor máximo ao Inverno e o mínimo ao Outono. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 39 a 59, sendo que, o valor mínimo de concentração registado foi 11  $\mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo 43  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Inverno e ao Outono, respectivamente.

A componente clorofila *a* (TSI(Chl)), na albufeira do Maranhão, apresentou valores entre 27 e 57, tendo a concentração desta componente variado entre 0,7 e 14,2  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo à Primavera. Para o fitoplâncton total verificou-se uma densidade superior no Verão. A componente de transparência (TSI(Ds)) variou entre 40 e 60 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 1 e 4 m, correspondendo o valor máximo ao Verão e o valor mínimo ao Outono. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 46 a 71, sendo, o valor mínimo de concentração registado 18  $\mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo 104  $\mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo ao Inverno e ao Verão, respectivamente.

A albufeira do Monte da Rocha, apresentou uma variação de valores para a componente clorofila *a* (TSI(Chl)) entre 37 e 42, tendo a variação da concentração de clorofila *a* flutuado entre 2 e 5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo ao Outono. O fitoplâncton total apresentou, nesta albufeira, máximos na estação do Verão. A componente de transparência (TSI(Ds)) variou entre 44 e 60 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 1 e 3m, correspondendo o valor máximo à Primavera e o valor mínimo ao

---

Outono. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 35 a 65, sendo o valor mínimo de concentração registado  $9 \mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo  $68 \mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor mínimo ao Verão e o valor máximo à Primavera.

A albufeira de Santa Clara, apresentou uma variação de valores para a componente clorofila *a* (TSI(Chl)) entre 22 e 32, tendo, a concentração de clorofila *a* variou entre  $0,4$  e  $1,2 \mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor máximo à Primavera e o valor mínimo ao Outono. O fitoplâncton total também atingiu densidades mais elevadas na Primavera. A componente de transparência (TSI(Ds)) variou entre 24 e 60 (Fig. 2), tendo sido registado uma amplitude de profundidade de transparência entre 1 e 5 m, correspondendo o valor máximo à Primavera e o valor mínimo ao Outono. Em relação à componente fósforo total (TSI(TP)), verificou-se uma variação de 20 a 64, sendo o valor mínimo de concentração registado  $3 \mu\text{gL}^{-1}$  e o máximo  $62 \mu\text{gL}^{-1}$ , correspondendo o valor mínimo ao Verão e o valor máximo ao Outono.

---

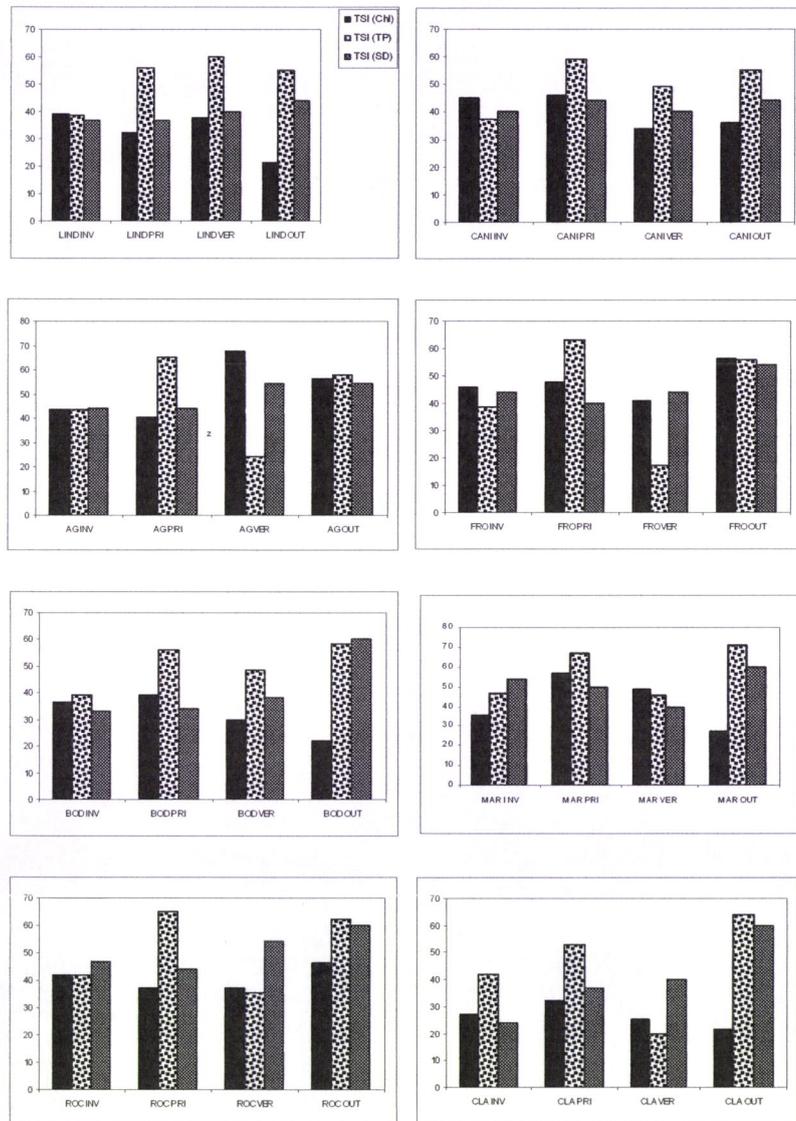


Figura 2. Variações sazonais das três componentes do índice trófico de Carlson (clorofila a (Chl), transparência de Secchi (SD) e fósforo (TP), (TSI)), para as oito albufeiras estudadas.

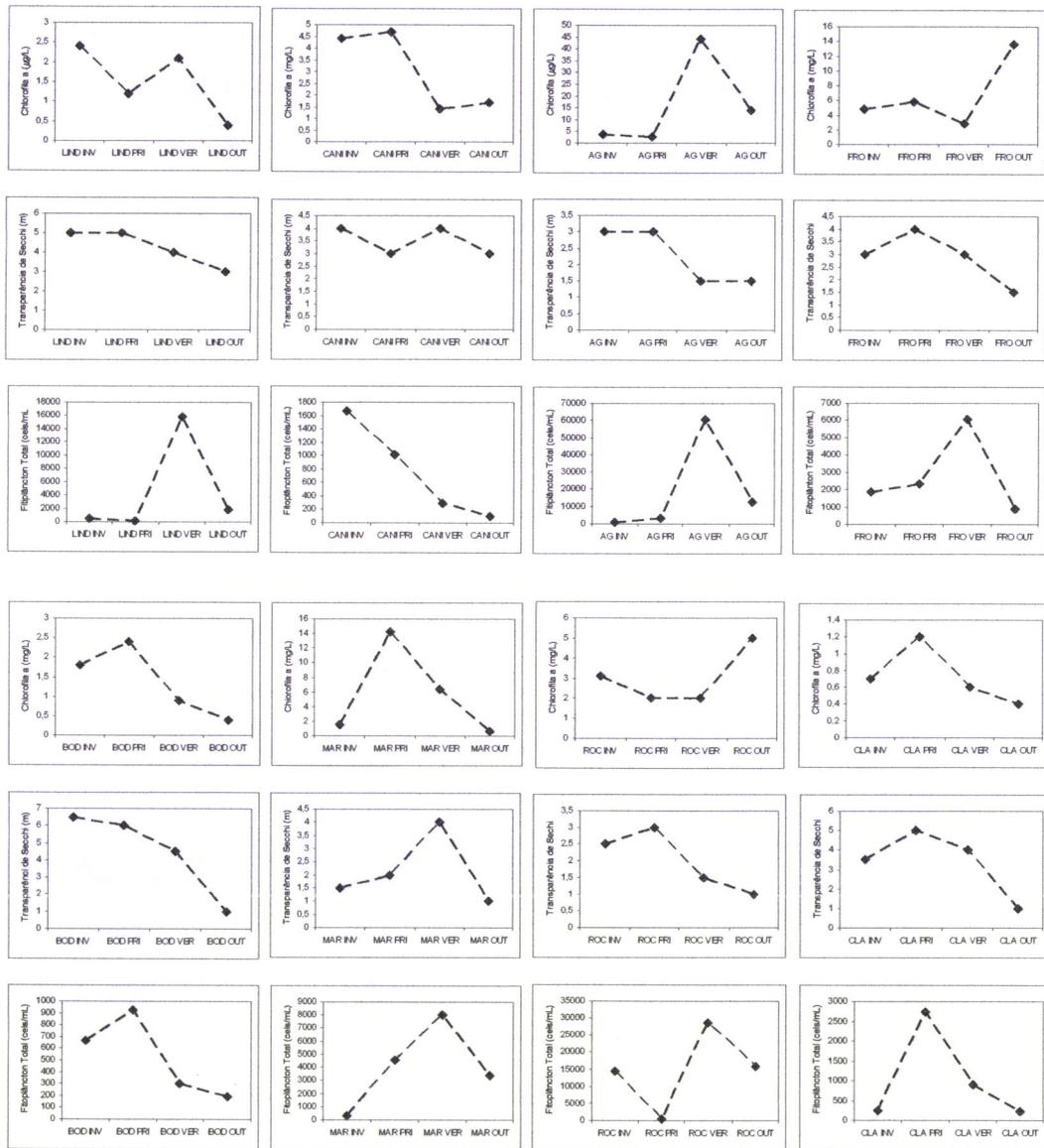


Figura 3. Variações sazonais da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ), da profundidade de transparência de Secchi (m) e de fitoplâncton total (cels/mL) para as quatro épocas de amostragem em oito albufeiras estudadas.

### Composição e variação do fitoplâncton

Na figura 4 apresentam-se as variações dos diferentes grupos taxonómicos nas quatro épocas de amostragem para as oito albufeiras. Deste modo, verificou-se que, na maioria das albufeiras, durante o Inverno e Primavera predominam o grupo das bacilariófitas, exceptuando, a albufeira do Alto Lindoso, onde o grupo das criptófitas é mais representativo no Inverno e na Primavera, sendo esta comunidade caracterizada maioritariamente pelo género *Chroomonas*. Em Monte da Rocha, as cianobactérias predominaram durante o Inverno, sendo representadas pelo género *Woronichinia*, enquanto que, na Primavera predominaram as criptófitas com o género *Chroomonas* como dominante. Na albufeira de Fronhas destacou-se a maior representatividade das cianobactérias durante a Primavera, sendo a comunidade constituída pelo género *Oscillatoria*. Em relação ao Verão verificou-se que as cianobactérias são o grupo dominante para as albufeiras da Aguieira, Alto Lindoso, Fronhas, Maranhão e Monte da Rocha, sendo os géneros predominantes *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Limnothrix* e *Coelosphaerium*. Na albufeira da Caniçada, assim como em Castelo de Bode existe uma grande heterogeneidade nos grupos fitoplanctónicos, enquanto que em Santa Clara o grupo dominante foi as bacilariófitas tendo como principal género *Cyclotella*.

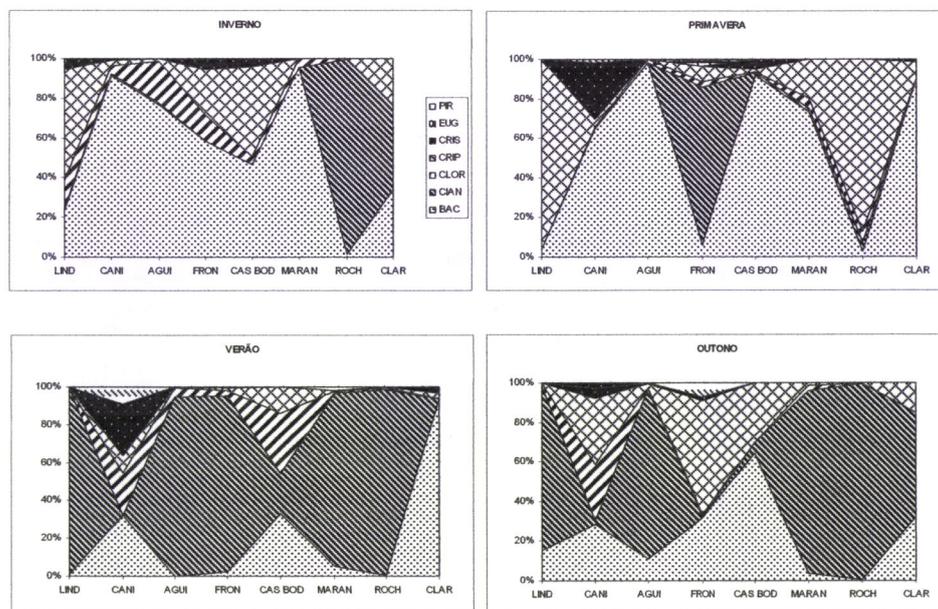


Figura 4. Abundância relativa dos grupos taxionómicos nas oito albufeiras estudadas. PIR: Pirrófitas; EUG: Euglenófitas; CRIS: Crisófitas; CRIP: Criptófitas; CLOR: Clorófitas; CIAN: Cianobactérias; BAC: Bacilariófitas.

### Azoto total e Fósforo total

Na figura 5 apresentam-se os resultados das concentrações de fósforo total e azoto total para as oito albufeiras estudadas. O fósforo total apresentou concentrações mais elevadas durante o período de mistura da água, ou seja, entre o Outono e a Primavera, sendo que no Verão, as concentrações de fósforo total decrescem significativamente, variando entre 0,0012 mgL<sup>-1</sup> na albufeira de Fronhas e 0,0071 mgL<sup>-1</sup> na albufeira da Aguieira.

A albufeira do Maranhão apresentou, as concentrações mais elevadas de fósforo total em relação às restantes albufeiras, encontrando-se a concentração mais alta (0,129 mgL<sup>-1</sup>) no Outono. As restantes albufeiras apresentaram médias anuais muito similares, variando os valores de fósforo total entre 0,011 mgL<sup>-1</sup> na albufeira do Alto Lindoso, Caniçada e Fronhas, durante o Inverno e 0,062 mgL<sup>-1</sup> na albufeira da Aguieira, durante o Primavera.

Na figura 5 observa-se que as concentrações mais elevadas de fósforo total e azoto total correspondem aos meses mais húmidos. O azoto total, à semelhança do fósforo total, apresentou valores mais reduzidos durante o Verão e valores mais elevados durante o Inverno e a Primavera. As concentrações mais elevadas são 1,97 mgL<sup>-1</sup> na albufeira da Aguieira durante a Primavera e 1,70 mgL<sup>-1</sup> em Monte da Rocha durante o Inverno. Os valores mais baixos encontram-se nas albufeiras de Santa Clara e Caniçada, sendo 0,12 mgL<sup>-1</sup> e 0,16 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente.

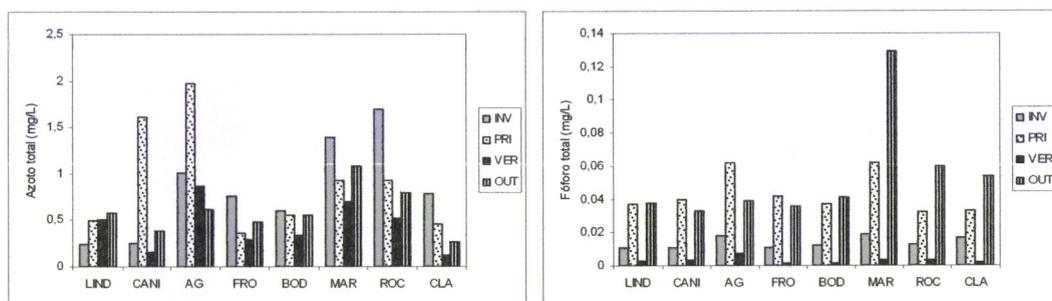


Figura 5. Variação das concentrações de azoto total e de fósforo total em mg/L, para as quatro campanhas de amostragem, nas oito albufeiras estudadas.

Na figura 6 apresenta-se a razão entre o azoto e o fósforo para as oito albufeiras estudadas, nas quatro épocas de amostragem. A razão azoto/fósforo apresentou valores significativamente superiores no Verão, sendo Castelo de Bode, Fronhas e Maranhão as albufeiras que revelaram os resultados mais elevados da razão entre estes nutrientes. Em contrapartida, os resultados mais baixos apareceram no Outono nas albufeiras de Santa Clara e do Maranhão que apresentaram a razão mais baixa, 5 e 8, respectivamente.

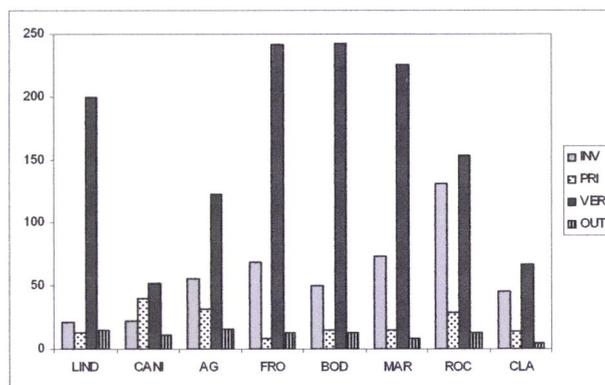


Figura 6. Variação da razão azoto total com o fósforo total para as quatro épocas de amostragem nas oito albufeiras estudadas.

### Análise Canónica de Correspondência (ACC)

Na análise canónica de correspondência (ACC) foi utilizado o método “*forward selection*” para 999 permutações segundo o teste de permutação de Monte Carlo, de forma seleccionar as variáveis ambientais mais significativas (temperatura, condutividade, fósforo total, azoto total e oxigénio dissolvido).

Na figura 7 apresenta-se o resultado gráfico da análise de correspondência canónica para a albufeira do Alto Lindoso. Os valores próprios dos dois primeiros eixos são 0,535 e 0,398, que correspondem a uma variância acumulada de 79,9%. O diagrama da figura 7 mostrou que o primeiro eixo da ordenação separa o Inverno e a Primavera, localizados no sector positivo, do Verão, localizado no sector negativo da ordenação. Estas épocas do ano caracterizaram-se, respectivamente, pela presença de bacilariófitas e clorófitas como grupos dominantes durante o Inverno e cianobactérias e bacilariófitas, durante o Verão. As variáveis ambientais que se relacionaram com esta distribuição das espécies foram o oxigénio dissolvido no Inverno e a temperatura e o azoto total no Verão. O segundo eixo da ordenação mostrou o Outono, localizado no sector negativo em oposição ao Verão e Primavera, localizados no sector positivo. O Outono é foi caracterizado pelo grupo das bacilariófitas e clorófitas. No Outono, a variável ambiental que explica esta distribuição de espécies foi o fósforo total.

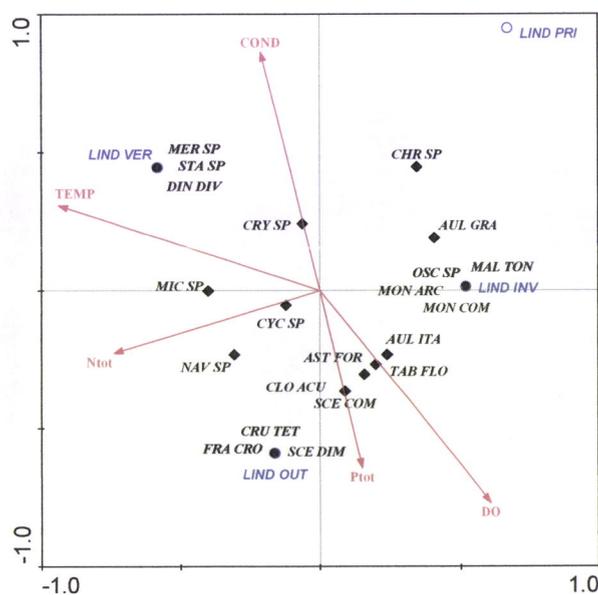


Figura 7. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira do Alto Lindoso.

A figura 8 mostra o resultado gráfico da análise de correspondência canónica para a albufeira da Caniçada. Os valores próprios para os dois primeiros eixos são 0,45 e 0,288, que correspondem a uma variância acumulada de 73,8%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a oposição entre o Inverno, localizado no sector negativo, da Primavera e do Verão, localizados no sector positivo da ordenação. Estas épocas do ano caracterizaram-se, respectivamente, pela presença do grupo das bacilariófitas e clorófitas como grupos dominantes durante o Inverno, bacilariófitas e crisófitas, durante a Primavera e bacilariófitas, clorófitas e crisófitas no Verão. As variáveis ambientais que se relacionaram com esta distribuição das espécies foram o oxigénio dissolvido no Inverno e a temperatura e o azoto total na Primavera e no Verão. O segundo eixo da ordenação mostrou o Outono, localizado no sector positivo em oposição ao Inverno e Primavera, localizados no sector negativo. O Outono foi caracterizado pelo grupo das bacilariófitas, clorófitas e criptófitas. A variável ambiental que explicou esta distribuição de espécies foi o fósforo total, para o Outono, e a condutividade para o Inverno e Primavera.

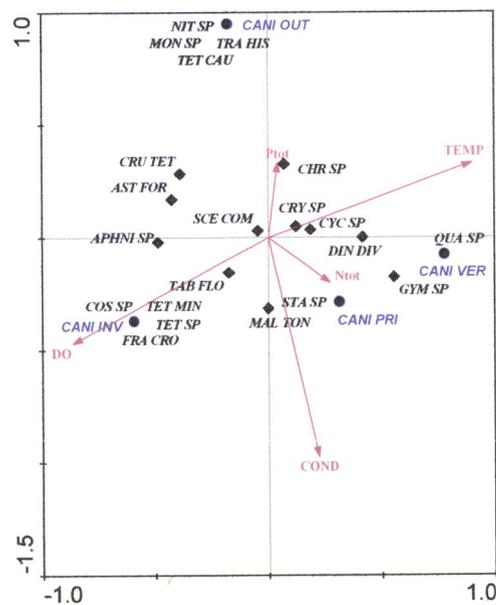


Figura 8. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira da Caniçada.

A figura 9 mostra o resultado gráfico da análise de correspondência canónica para a albufeira da Agueira. Os valores próprios para os dois primeiros eixos são 0,646 e 0,452, que correspondem a variância acumulada de 81,3%. O primeiro eixo separou o Verão, localizado no sector positivo, do Inverno, Primavera, Outono, localizados no sector negativo da ordenação. Estas épocas do ano caracterizam-se, respectivamente, pela presença do grupo das cianófitas e clorófitas como grupos dominantes durante o Verão, o grupo das bacilariófitas, durante o Inverno e Primavera das cianófitas e bacilariófitas, no Outono. As variáveis ambientais que se relacionaram com esta distribuição das espécies foram o oxigénio dissolvido, temperatura e condutividade, no Verão e o fósforo total na Primavera e no Outono. O segundo eixo da ordenação mostrou o Outono e o Verão, localizado no sector negativo em oposição ao Inverno e Primavera e Inverno, localizados no sector positivo.

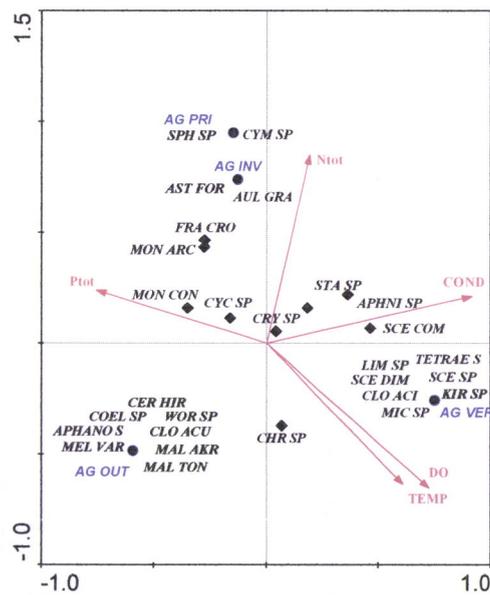


Figura 9. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira da Agueira.

A figura 10 mostra o resultado gráfico da análise de correspondência canónica para a albufeira de Fronhas. Os valores próprios para os dois primeiros eixos são 0,584 e 0,402, que correspondem a variância acumulada de 74,3%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a separação entre o Verão, localizado no sector positivo, do Inverno e da Primavera, localizados no sector negativo da ordenação. Estas épocas do ano caracterizaram-se, respectivamente, pela presença do grupo das cianófitas e clorófitas, durante o Verão, bacilariófitas e criptófitas, durante o Inverno e bacilariófitas e cianófitas na Primavera. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição das espécies foram a temperatura no Verão e o oxigénio dissolvido e o azoto total no Inverno e na Primavera. O segundo eixo da ordenação separou o Inverno, localizado no sector negativo, da Primavera, localizado no sector positivo.

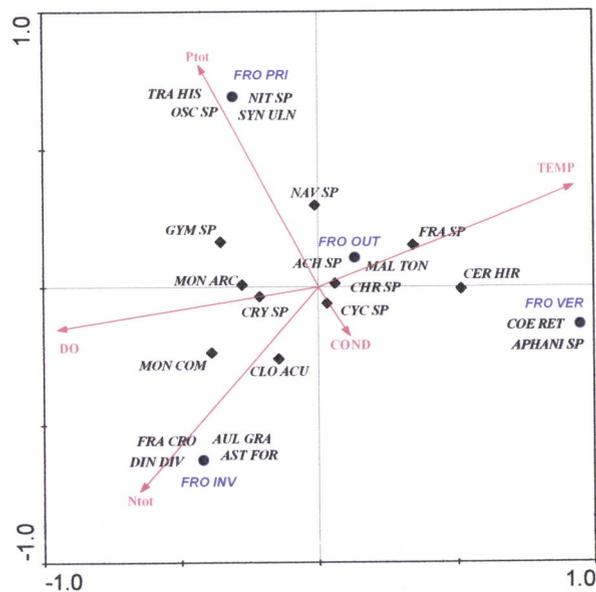


Figura 10. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira de Fronhas.

O diagrama da análise canónica de correspondência para a albufeira de Castelo de Bode encontra-se apresentado na figura 11. Os valores próprios para os dois primeiros eixos são 0,454 e 0,395, que correspondem a variância acumulada de 76,9%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a oposição entre o Verão, localizado no sector positivo, do Inverno, Primavera e Outono, localizados no sector negativo da ordenação. O Verão caracterizou-se pela presença do grupo das cianófitas como grupo dominante, o Inverno caracterizou-se pela presença de bacilariófitas e clorófitas e o Outono caracterizou-se pela presença do grupo das bacilariófitas. As variáveis ambientais que se relacionaram com esta distribuição das espécies foram a temperatura e a condutividade no Verão, o azoto total durante o Inverno e o fósforo total no Outono. O segundo eixo da ordenação opôs o Inverno e o Verão, localizado no sector negativo, ao Outono localizado no sector positivo da ordenação.

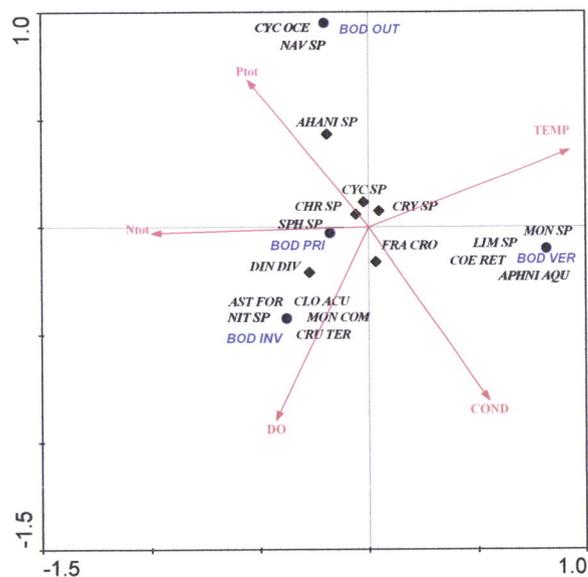


Figura 11. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira de Castelo de

Bode.

O diagrama da análise de correspondência canónica para a albufeira do Maranhão apresenta-se na figura 12. Os valores próprios desta análise para os dois primeiros eixos são 0,581 e 0,524 que correspondem a uma variância acumulada de 72,9%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a oposição entre o Verão e o Inverno, localizado no sector positivo, da Primavera, localizada no sector negativo da ordenação. O Verão caracterizou-se pela presença do grupo das cianófitas como grupo dominante, enquanto que o Inverno caracterizou-se pela presença de bacilariófitas e a Primavera caracterizou-se pela presença do grupo das bacilariófitas e clorófitas. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição das espécies durante o Verão foram o oxigénio dissolvido e a temperatura. O segundo eixo da ordenação opôs o Inverno e o Outono, localizado no sector positivo, à Primavera e ao Verão, localizados no sector negativo da ordenação. No Outono, as clorófitas e as cianófitas apresentaram maior representatividade. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição, durante o Outono foram o azoto total e o fósforo total e durante o Verão foram a condutividade, temperatura e oxigénio dissolvido.

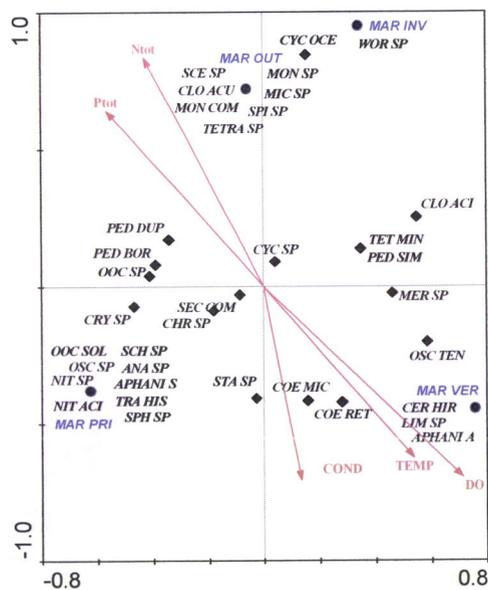


Figura 12. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira do Maranhão.

O diagrama da análise de correspondência canónica para a albufeira do Monte da Rocha apresenta-se na figura 13. Os valores próprios desta análise para os dois primeiros eixos são 0,49 e 0,349 que correspondem a uma variância acumulada de 76,5%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a separação entre o Inverno e a Primavera, localizados no sector positivo, do Verão e do Outono, localizados no sector negativo da ordenação. O Inverno caracterizou-se pela presença dos grupos das cianófitas e das clorófitas, a Primavera caracterizou-se pela presença das criptófitas, o Verão caracterizou-se pela presença do grupo das cianófitas como grupo dominante e alguma clorófitas e o Outono que se caracterizou pela presença de cianófitas. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição das espécies durante o Inverno foram o azoto total e a condutividade, enquanto que no Outono foram a temperatura e o fósforo total. O segundo eixo da ordenação opôs a estação do Verão e do Inverno, localizados no sector negativo, à Primavera e ao Outono, localizados no sector positivo da ordenação. A variável ambiental que explicou esta distribuição, durante o Inverno foi o oxigénio dissolvido.

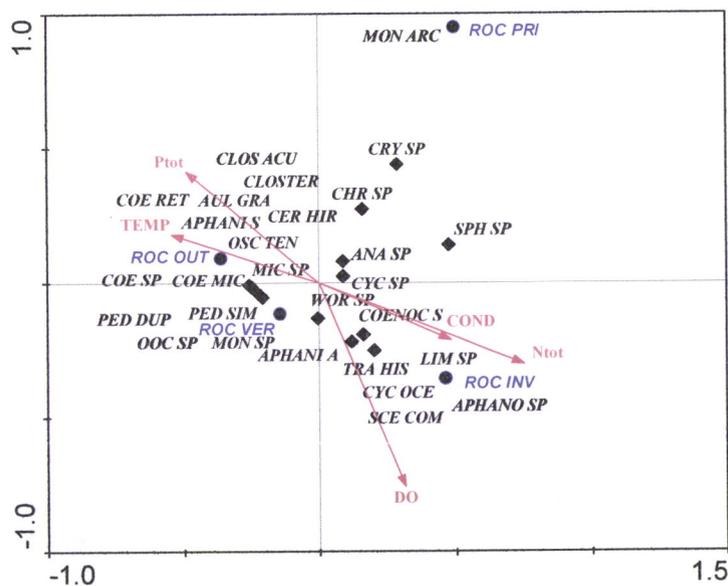


Figura 13. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira do Monte da Rocha.

O diagrama da análise de correspondência canónica para a albufeira de Santa Clara apresenta-se na figura 14. Os valores próprios desta análise para os dois primeiros eixos são 0,517 e 0,350 que correspondem a uma variância acumulada de 77,6%. O primeiro eixo da ordenação mostrou a separação entre o Outono, localizado no sector positivo, do Inverno, Primavera e Verão, localizados no sector negativo da ordenação. O Inverno caracterizou-se pela presença do grupo das cianófitas, a Primavera caracterizou-se pela presença das bacilariófitas, o Verão caracterizou-se pela presença do grupo das cianófitas e o Outono que se caracterizou pela presença de cianófitas e bacilariófitas. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição das espécies durante o Outono foram o fósforo total, enquanto que no Verão foram o oxigénio dissolvido e a condutividade. O segundo eixo da ordenação opôs a estação do Verão e da Primavera, localizados no sector negativo, à estação do Inverno, localizado no sector positivo da ordenação. As variáveis ambientais que explicaram esta distribuição foram, a temperatura no Verão e na Primavera e o azoto total durante o Inverno.

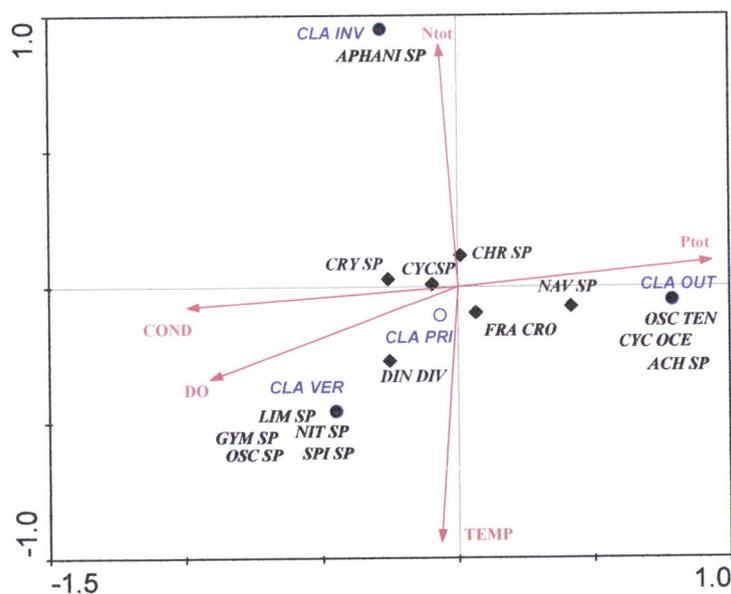


Figura 14. Diagrama de ordenação da análise canónica de correspondência (ACC) dos parâmetros físico-químicos e biológicos para a albufeira de Santa Clara.

## DISCUSSÃO

O índice trófico de Carlson caracteriza o estado trófico de albufeiras e de lagos, associando a transparência do disco de *Secchi*, a concentração de clorofila *a*, e a concentração de fósforo. Assim sendo, este índice refere-se ao nível de produtividade primária na massa de água quantificada através da concentração de fósforo, da abundância de fitoplâncton e da penetração da luz na coluna de água. A determinação do estado trófico através do índice trófico de CARLSON (1977) evidenciou uma separação as albufeiras da Agueira e do Maranhão, que registaram valores que as inserem no estado eutrófico inferior, uma vez que estão na zona de transição ente o mesotrófico e o eutrófico. As albufeiras de Fronhas e do Monte da Rocha foram classificadas como mesotróficas, enquanto que, Caniçada foi classificada como mesotrófica inferior pois encontra-se na transição entre o oligotrófico para o mesotrófico. Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara localizam-se na transição entre oligotrófico e mesotrófico, sendo classificadas como oligotróficas superiores. CARLSON (1977) sugere que, para se efectuar uma classificação do estado trófico mais fidedigna, deve-se dar mais ênfase aos parâmetros biológicos, nomeadamente clorofila *a*, no Verão e aos parâmetros químicos, ou seja, fósforo total, durante o Inverno e Primavera, quando o crescimento das populações fitoplanctónicas poderá estar limitado por outros factores.

O acompanhamento de uma determinada comunidade fitoplanctónica em termos de evolução quantitativa é fundamental em estudos de ecossistemas aquáticos (HALLEGRAEFF, 1977), podendo ser feito, entre outros métodos, através determinação de clorofila *a* (CRAVEIRO, 1994). A concentração de clorofila *a* permite quantificar a evolução da biomassa fitoplanctónica. As concentrações mais elevadas de clorofila *a*, foram registadas na albufeira da Agueira, no Verão, na albufeira do Maranhão, na Primavera e na albufeira de Fronhas, no Outono. Estes valores mais elevados são acompanhados, na albufeira da Agueira, por um aumento da densidade de fitoplâncton e um decréscimo da transparência de disco de *Secchi*. Nas albufeiras de Fronhas e do Maranhão os picos de clorofila *a* não correspondem aos valores de densidade total mais elevados, surgindo estes no Verão, uma vez que as cianobactérias são o grupo dominante. Estes valores mais elevados de densidade total não são correspondentes com as concentrações mais altas de clorofila *a* pois na maioria das cianobactérias a ficocianina é o pigmento dominante, conferindo às células a tonalidade verde-azulada característica (HOEK, 1995). A albufeira do Monte da Rocha destacou-se pelos valores de densidade fitoplanctónica elevados durante o Verão, Outono e Inverno devido ao número elevado de cianobactérias nestas épocas. As restantes albufeiras não apresentaram diferenças significativas entre elas.

As albufeiras da Caniçada, Maranhão e Monte da Rocha apresentaram profundidades de *Secchi* reduzidas, sendo este facto sustentado pela densidade de fitoplâncton existente na massa de água. Na albufeira de Castelo de Bode distinguiram-se os elevados valores da transparência de

---

*Secchi*, nas campanhas de amostragem de Inverno, Primavera e Verão, comprovados pelas densidades de fitoplâncton total reduzidas. No Outono, para as oito albufeiras estudadas, registaram-se profundidades de *Secchi* reduzidas, provavelmente devido à entrada de material orgânica e inorgânica na massa de água. Segundo CABEÇADAS (1988), a transparência da água parece estar associada negativamente a precipitação, apresentado valores mais baixos durante e estação das chuvas devido a escorrência da água dos solos para as massa de água provocando entrada de matéria orgânica e inorgânica, proveniente da bacia de drenagem, aliado à superior turbulência na massa de água durante esta época do ano (PÁDUA, 2001). No Verão, a profundidade do disco de *Secchi* pode diminuir com o aumento das comunidades fitoplanctónicas (PÁDUA, 2001).

Para o período amostrado verificou-se a dominância das bacilariófitas durante o Inverno, das cianobactérias e criptófitas durante a Primavera, cianobactérias durante o Verão e por último, as cianobactérias, bacilariófitas e criptófitas durante o Outono. Na albufeira do Monte da Rocha observou-se que o grupo dominante para o período de amostragem foi o grupo das cianobactérias com excepção da Primavera onde as criptófitas foram predominantes. No grupo das crisófitas, o género *Dinobryon* é o mais vulgarmente considerado como indicador de oligotrofia, devido à sua eficiência na captação do fósforo, mesmo em concentrações muito baixas (LEHMAN, 1979 *in* OLIVEIRA, 1987). Este género foi encontrado nas albufeiras do Alto Lindoso, Caniçada, Castelo de Bode, Fronhas e Santa Clara. As criptófitas pertencem a um grupo capaz de proliferar em águas de estados tróficos bastante diferentes. REYNOLDS (1984 *in* OLIVEIRA, 1987) inclui-as nas sucessão Primavera-Verão dos lagos mesotróficos e eutróficos, enquanto que SOMMER (1986 *in* OLIVEIRA, 1987) considera este grupo muito importante nos lagos oligotróficos, durante o Verão. Os resultados obtidos mostraram que as criptófitas foram encontradas com maior representatividade no Inverno, Primavera e Outono, nas albufeiras do Alto Lindoso, Caniçada, Castelo de Bode, Fronhas e Monte da Rocha, enquanto que apareceram com menor representatividade no Verão. No que respeita às bacilariófitas, a espécie *Cyclotella ocellata* (HUTCHINSON, 1967 *in* OLIVEIRA, 1987) e a espécie *Tabellaria flocculosa* foram consideradas como características de lagos pobres (RAWSON 1956, *in* OLIVEIRA, 1987). Nas albufeiras estudadas, o género *Cyclotella* aparece em todas as albufeiras, traduzindo-se num género generalista, enquanto que a *Tabellaria flocculosa* aparece na albufeira do Alto Lindoso e Caniçada. As albufeiras com características meso-eutróficas são caracterizadas pela dominância de cianobactérias associadas a clorófitas e bacilariófitas, ou seja, *Microcystis* sp., *Pediastrum* sp., *Sphaerocystis* sp. e *Cyclotella* sp. (OLIVEIRA, 1987). Esta associação verificou-se nas albufeiras da Aguieira, Maranhão e Monte da Rocha.

O número de espécies por amostra, ou seja, a diversidade específica, tem sido, também, considerada como parâmetro que reflecte, não só o estado trófico da água, mas, sobretudo as modificações operadas no meio ambiente, com incidência na estrutura das comunidades

---



fitoplanctónicas. Seria assim, sensível, à deficiência ou riqueza em nutrientes, à formação de florescências e aos vários tipos de poluição (LAMPKIN & SOMMERFELD, 1982 *in* OLIVEIRA, 1987). Os resultados obtidos mostram que as albufeiras que encontram-se num estado de trofia mais avançado, nomeadamente, a albufeira Agueira (28 espécies), Maranhão (37 espécies), Monte da Rocha (28 espécies) e Fronhas (23 espécies), apresentam um maior número de espécies, ao longo do ano. Seria de esperar que o número de espécies diminuísse no caso de ocorrer florescências de cianobactérias e progressivamente aumentasse à medida que a florescência fosse desaparecendo. As razões apontadas para a redução do número de espécies durante as florescências podem ser a competição pelos nutrientes, a inibição ou redução da fotossíntese por fenómenos de ensombramento, a predação pelo zooplâncton e a produção de toxinas pelas cianobactérias (OLIVEIRA, 1987). Nas albufeiras em causa, tal não aconteceu uma vez que não foi registrado um desenvolvimento significativo das cianobactérias.

Nas águas naturais ocorrem habitualmente flutuações sazonais da concentração de nutrientes, sendo, mais elevadas no Inverno e mais baixas no Verão (REYNOLDS, 1984). No Inverno, a influencia da maior precipitação, a entrada de nutrientes provenientes da bacia de drenagem é mais elevada, sendo que, a estes valores está inerente o escoamento de fertilizantes químicos à base de fosfatos e nitratos (ROSS *et al.* 1989). Nos sistemas aquáticos, o fósforo e o azoto são os nutrientes de maior importância para a produtividade primária, sendo, usualmente, o fósforo, o nutriente limitante ao crescimento do fitoplâncton (CABEÇADAS, 1988). As albufeiras estudadas apresentaram concentrações de azoto total mais elevadas na estação das chuvas (Inverno e Primavera), provavelmente devido à entrada de nutrientes por escorrência da água proveniente da precipitação e ao baixo consumo destes nutrientes por parte da biomassa fitoplanctónica. Em relação a fósforo, verificou-se que as concentrações mais elevadas também foram no período húmido, no entanto, o período de Inverno, apresenta valores mais baixos que o Outono e a Primavera. Este facto poderá estar relacionado com uma diminuição no período de precipitação nesta estação, resultando na reduzida entrada de nutrientes para o sistema através da bacia de drenagem. A análise da disponibilidade dos nutrientes fósforo e azoto, pode fornecer indicações do estado de qualidade de uma massa de água e da tendência da sua evolução. VOLLENWEIDER (1982) apresentou um critério de avaliação de razão azoto/fósforo num ecossistema aquático, indicando que quando a razão é predominantemente inferior a 7, o azoto é o nutriente potencialmente limitante e quando a razão é superior a 15, o fósforo é o nutriente potencialmente limitante. Se a razão entre os dois nutrientes se situa entre 7 e 15, a produção primária pode ser limitada pelo azoto, pelo fósforo ou por ambos. Assim e de acordo com os resultados obtidos, verificou-se que para as oito albufeiras estudadas, durante o Outono, a razão azoto/fósforo foi inferior a 7 em Santa Clara e superior a 15 em Agueira, sendo entre estes valores para as restantes albufeiras. Deste modo, o nutriente potencialmente limitante para os processos metabólicos do fitoplâncton em Santa Clara parece ter sido o azoto, para a Agueira o

---

fósforo e para as restantes albufeiras provavelmente ambos. Para o Inverno, Primavera e Verão, a razão azoto/fósforo, situou-se na maioria dos casos acima dos 15. Neste caso, o nutriente limitante parece ter sido o fósforo, uma vez que existe no sistema mais azoto disponível em relação ao fósforo.

A análise canónica de correspondência mostrou as correlações existentes entre as variáveis fitoplanctónicas (espécies) e os variáveis físico-químicos (temperatura, oxigénio dissolvido, condutividade, fósforo total e azoto total). Em relação à albufeira do Alto Lindoso, observou-se as diferentes estações do ano bem distintas, estando o Verão associado a altas temperaturas e elevadas densidades de cianobactérias pertencente ao género *Microcystis*. No Outono as concentrações de azoto total e de fósforo total aumentam, assim como as densidades de bacilariófitas encontradas, sendo os *taxa* mais abundantes *Fragilaria crotonensis*, *Navicula* sp. e *Tabellaria flocculosa*. No Inverno, a densidade de fitoplâncton diminuiu, no entanto, a diversidade não varia muito, abrangendo um variado número de grupos. Na Primavera, a reduzida densidade de fitoplâncton justifica a elevada transparência de *Secchi*. A ACC para a albufeira da Caniçada, também distinguiu as quatro estações do ano, sendo que, o Verão continuou a ser influenciado pelas elevadas temperaturas, o Outono apresentou densidades de fitoplâncton reduzidas mas uma diversidade elevada, assim como seria de esperar valores mais elevados fósforo total. O Inverno e a Primavera, apresentaram valores de fitoplâncton total similares, no entanto, as bacilariófitas foram predominantes no Inverno, enquanto que na Primavera predominaram as criptófitas e as bacilariófitas.

Na albufeira da Aguieira os elevados valores de condutividade, temperatura e oxigénio dissolvido, traduziram-se na comunidade fitoplanctónica em densidades superiores de clorófitas e cianobactérias pertencentes aos géneros *Aphanizomenon*, *Limnothrix* e *Microcystis*, durante o período do Verão. No Inverno e na Primavera o grupo mais representativo é foi o das bacilariófitas associadas a concentrações de azoto total e fósforo total mais elevadas, no entanto, o desenvolvimento da comunidade de fitoplâncton mostrou-se limitado pelas condições de luz e temperatura.

A albufeira de Fronhas apresentou resultados similares às albufeiras referidas anteriormente, isto é, verificou-se uma diferenciação das diferentes estações dos anos, confirmada pela análise de correspondência. O Verão manifestou valores mais elevados de temperatura e condutividade, sendo as cianobactérias (*Aphanizomenon* sp.) o grupo dominante. No Inverno, a diversidade de espécies foi maior mas a densidade foi reduzida, sendo esta estação influenciada pela sua elevada concentração de azoto total e oxigénio dissolvido. Na Primavera a diversidade e a quantidade de espécies foi elevada. No Outono, apesar de existir uma diversidade de espécies moderada, não são significativos os parâmetros que influenciam a distribuição.

---

A albufeira de Castelo de Bode, que foi considerada como mesotrófica inferior segundo o índice trófico de Carlson, mostrou que à semelhança das albufeiras anteriores, consegue-se distinguir um padrão de sazonalidade, baseado nas relações entre as variáveis fitoplanctónicas e físico-químicas. Assim, o Verão apresentou temperaturas e condutividades mais elevadas, enquanto que o Inverno e a Primavera evidenciaram densidades e diversidades de fitoplâncton maiores, sendo esta comunidade constituída maioritariamente por bacilariófitas e criptófitas. O Outono apresentou uma baixa densidade e diversidade fitoplanctónica com valores de fósforo mais elevados, provavelmente devido ao menor consumo.

Para a albufeira do Maranhão também se verificou uma distinção bastante clara das épocas de amostragem. Deste modo, o Verão continua a ser influenciado pela temperatura, condutividade e oxigénio dissolvido, sendo as cianobactérias o grupo dominante. A Primavera apresentou uma diversidade de fitoplâncton elevada, sendo esta comunidade constituída por bacilariófitas, cianobactérias, clorófitas e criptófitas. O Outono, caracterizado pela início da estação das chuvas, apresentou concentrações de azoto e fósforo total elevadas, sendo o grupo dominante as clorófitas. O Inverno apresentou densidades muito reduzidas de fitoplâncton, talvez por isso esteja numa posição mais afastada no diagrama.

Na albufeira do Monte da Rocha, o Verão apresentou densidades de cianobactérias elevadas, facto este explicado pelo aumento da temperatura e da luminosidade, pois estão reunidas as condições necessárias para o desenvolvimento do fitoplâncton. O Outono apresentou-se muito semelhante ao Verão, com diversidade de fitoplâncton elevada, sendo o grupo das cianobactérias dominante, no entanto, os elevados valores de fósforo total e de temperatura provavelmente afastaram esta estação do Verão. A Primavera também se encontrou ligeiramente afastada, talvez porque apresentou diversidade e abundância de fitoplâncton reduzida comparativamente com as outras estações. O Inverno mostrou estar relacionado com os valores elevados do azoto total, condutividade e oxigénio dissolvido, sendo caracterizado pelo grupo das cianobactérias e algumas clorófitas.

Por último, a albufeira de Santa Clara no Verão, apresentou uma comunidade fitoplanctónica relacionada com a temperatura, oxigénio dissolvido e condutividade. Ao longo do ano, a diversidade e abundância apresentada por esta albufeira foi muito reduzida. Deste modo, as estações estão bem definidas com excepção do Inverno, que se destacou pela reduzida abundância. O Outono foi influenciado pelo fósforo total e o Inverno pelo azoto total. A Primavera situou-se na linha do eixo, não permitindo verificar quais os parâmetros que estão a influenciar a sua distribuição.

---

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram classificar as albufeiras estudadas em diferentes estados de trofia. As albufeiras da Agueira e do Maranhão foram classificadas no estado eutrófico inferior, Fronhas e Monte da Rocha foram classificadas mesotróficas, Caniçada foi classificada como mesotrófica inferior, e por último, Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara foram classificadas como oligotróficas superiores. As albufeiras da Agueira e do Maranhão foram consideradas eutróficas inferiores, uma vez que, os valores da clorofila *a*, fósforo total e transparência de *Secchi* foram elevados, colocando o sistema como eutrófico. Em relação a Fronhas e Monte da Rocha verificou-se que as três componentes do índice de Carlson apresentaram valores dentro dos limites da mesotrofia. Quanto a Caniçada, as componentes clorofila *a* e profundidade de *Secchi*, referentes ao índice trófico de Carlson, apresentaram valores muito próximos do limite inferior da mesotrofia, porém, a componente fósforo deste índice, apresentou valores próximos do limite superior da mesotrofia, classificando o sistema como mesotrófico inferior. As albufeiras do Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara foram classificadas como oligotróficas superiores por apresentarem valores da clorofila *a* e transparência de *Secchi*, dentro da oligotrofia, no entanto, a componente fósforo apresentou valores ligeiramente mais elevados.

A densidade e a diversidade dos grupos fitoplanctónicos existentes ao longo do período amostrado, mostrou que no Inverno, as baixas temperaturas, reduzida luminosidade e a precipitação mais elevada, são os principais responsáveis pela diminuição do fitoplâncton nesta época. Contrariamente, no Verão, quando aumentam as condições de luz e temperatura aumenta também fitoplâncton total. As albufeiras com características próximas da oligotrofia, revelaram a existência de géneros indicadores desse estado. O género *Dinobryon* faz parte do grupo da crisófitas existentes no Alto Lindoso, Castelo de Bode e Santa Clara, que indica águas pobres em nutrientes. Nas bacilariófitas, o género *Cyclotella ocellata* e a espécie *Tabellaria flocculosa* também são consideradas como espécies dos lagos pobres, tendo sido encontradas no Alto Lindoso e Caniçada, apesar desta última estar classificada como mesotrófica inferior. Para Agueira, Maranhão e Monte da Rocha, verificou-se a existência de *taxa* característicos dos sistemas mesotróficos, ou seja, *Microcystis* sp., *Pediastrum* sp., *Sphaerocystis* sp. e *Cyclotella* sp. O número de espécies (diversidade específica) em cada amostra também foi considerado, uma vez que reflecte o estado de trofia do sistema. As albufeiras da Agueira, Maranhão, Monte da Rocha e Fronhas, apresentaram um maior número de espécies, ao longo do ano.

Em relação ao azoto total e ao fósforo total, verificou-se que ambos têm valores mais elevados na estação húmida, pois é nesta época que ocorre grandes entradas de nutrientes provenientes dos tributários, precipitação, fertilizantes ou até mesmo entradas internas provenientes dos sedimentos. As albufeiras da Agueira e Maranhão apresentaram, ao longo do ano,

---

concentrações de fósforo e azoto mais elevadas, no entanto, Monte da Rocha, apesar de ligeiramente mais baixo, também evidenciou elevadas concentrações de azoto. Para a razão azoto/fósforo, verificou-se que o nutriente potencialmente limitante ao desenvolvimento do fitoplâncton foi provavelmente o azoto para a albufeira de Santa Clara, o fósforo para a albufeira da Agueira e o azoto e o fósforo para as restantes.

A ACC revela que as variáveis ambientais influenciaram a comunidade fitoplanctónica que por sua vez evidenciou uma elevada variabilidade sazonal.

#### AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Maria Manuela Morais pelo apoio e orientação no decorrer deste trabalho e por disponibilizar as instalações Laboratório de Água da Universidade de Évora; à Lena e à Ana pela enorme ajuda nas campanhas de amostragem e à Fundação Eugénio d'Almeida pelo apoio financeiro disponibilizado.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.P.H.A. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Ed. *American Public Health Association*, Washington DC.
- BERNARDINO, R. & S. RODRIGUES. 2000. *Análise da Qualidade Ecológica das Águas Superficiais*. Relatório Final do Trabalho Final de Curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico.
- CABEÇADAS, M. 1988. Phosphorus and nitrogen dynamics in the eutrophication process of Montargil reservoir. Dissertação apresentada para provas de acesso à categoria de Investigadora Auxiliar. Instituto Nacional de Investigação das Pescas. 167 Pp.
- CARLSON, R. E. 1977. *A trophic state index for lakes*. *Limnology and Oceanography*. 22(2): 361-369.
- CASACA, M. H. 2000. *Caracterização da comunidade fitoplanctónica de seis albufeiras do Sul de Portugal*. Tese para conclusão da Licenciatura em Biologia pela Universidade de Évora, Évora, 100Pp.
-

- CRAVEIRO, S. 1994. Composição e dinâmica da comunidade fitoplanctónica da Albufeira de Coimbra. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Mestre. Universidade de Coimbra. 75Pp.
- DIRECTIVA 200/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, de 22 de Dezembro de 2000.
- FERREIRA, R. , A.L. CAVENAGHI, E.D. VELINI, M.R. CORRÊA, E. NEGRISOLI, L.F. BRAVIN, M.L. TRINDADE, & F.S. PADILHA. 2005. Monitoring phytoplankton and microcystin at the Americana reservoir. *Planta Daninha*. 23 (2): 203-214.
- HALLEGRAEFF, M. 1977. A comparison of different methods used for the quantitative evaluation of biomass of freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*. 55: 145-165.
- HOEK, C., D. G. MANN and H. M. JAHNS. 1995. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge University Press, 623Pp.
- LORENZEN, C.J.. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*. 12:343-346.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Ed. Omega. Barcelona. 1010Pp.
- NEGRO, C., A. del RIO & R. LE COHU. 1994. Comparación de las comunidades fitoplánctónicas en dos embalses de reciente creación: Riño y Valparaíso (Espanã). *Limnética*, 10(1), 115:121.
- OLIVEIRA, M.R. 1987. Estrutura de comunidades fitoplanctónicas em albufeiras portuguesas. Dissertação apresentada para provas de acesso à categoria de Investigadora Auxiliar. Instituto Nacional de Investigação das Pescas. 307 Pp.
- PÁDUA, J. 2001. *Comparação ecológica entre as albufeiras do Divor e Monte Novo*. Instituto da Água. Estudos e Documentos de Trabalho. No 5. 52Pp.
- RECKERMANN, M. & F. COLIJN. 2000. *Protocol for the spectrophotometric determinataion of chlorophyll a and phaeopigments*. International Council for the Exploration of the sea. Quasimeme-Bequalm Porgramme. Denmarck. 14Pp.
-

- REYNOLDS, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge. 384Pp.
- SANTOS, M., S. ROSADO, A. FILHO e D. CARVALHO. 2000. Correlation between soil variables and herbac-shrub species in revegetation of dunes in the northern coast of the Paraíba state - Brazil. *Cerne*. 6: 19-29
- SEQUEIRA, E.M., 1998. *A alteração climática, a rega e a quantidade e qualidade de água. Risco de degradação dos solos. In Actas do seminário Barragens e Ambiente.*
- TER BRAAK, C. J. F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67(5):1167-1179.
- UTERMÖHL, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton – Methodik. *Mitt. Mt. Ver. Limnol*. 9:1-38.
- VOLLENWEIDER & KEREKES., 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Organization for Economic Co-operation and Development.* Paris. 154Pp.
- WETZEL, R. G., 1993. Future directions in research on controls of eutrofication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 52: 71-78.

#### Bibliografia de Identificação

- BAKER, P. 1991. *Identification of Common Noxious Cyanobacteria. Part I – Nostocales.* Australian Centre for Water Quality. Research Report No. 29.
- BAKER, P. 1991. *Identification of Common Noxious Cyanobacteria. Part II – Chroococales. Oscillatoriales.* Australian Centre for Water Quality. Research Report No. 46.
- BOURRELLY, P. 1968. *Les algues d'eau douce. Algues jaunes et brunes.* Ed. N. Boubée & Cie. Paris. 438 Pp.
- BOURRELLY, P. 1970. *Les algues d'eau douce. Algues vertes.* Ed. N. Boubée & Cie. Paris. 512 Pp.
-

- COMPÈRE, P. 1986. *Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique - Cyanophyceae*. Jardin Botanique National de Belgique. Volume 1. 120Pp.
- COMPÈRE, P. 1989. *Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique - Pyrrhophytes, Raphidophytes, Euglenophytes*. Jardin Botanique National de Belgique. Volume 2. 208Pp.
- COMPÈRE, P. 1991. *Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique - Rhodophytes*. Jardin Botanique National de Belgique. Volume 3. 55Pp.
- COMPÈRE, P. 1992. *Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique - Charophytes*. Jardin Botanique National de Belgique. Volume 4. 77Pp.
- COMPÈRE, P. 2001. *Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique - Desmidiées*. Jardin Botanique National de Belgique. Volume 5. 69Pp.
- JOHN, D. M., B. A. WHITTON & A. J. BROOK (Eds.). 2003. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press. Cambridge. 702 Pp.
- THIENEMANN, A.. 1941. *Das phytoplankton des süßwassers. 2 Teil. 1 Hälfte - Chrysophyceen. Farblose Flagellaten Heterokonten*. Stuttgart. 365 Pp.
- THIENEMANN, A., 1955. *Das phytoplankton des süßwassers - 4 Teil. Euglenophyceen*. Stuttgart. 606 Pp.
- THIENEMANN, A. 1955. *Das phytoplankton des süßwassers - 7 Teil. 1 Hälfte. Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales*. Stuttgart. 1044 Pp.
-

# ANEXO

**Tabela 1. Resultados das quantificações efectuadas nas albufeiras amostradas para os períodos do Inverno, Primavera, Verão e Outono.**

			LIND INV	LIND PRI	LIND VER	LIND OUT
<b>Bacilariófitas</b>	<i>Asterionella formosa</i>	AST FOR	8			10
	<i>Aulacoseira granulata</i>	AUL GRA	8	5		3
	<i>Aulacoseira italica</i>	AUL ITA	13			5
	<i>Cyclotella ocellata</i>	CYC SP	52		160	191
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	FRA CRO				34
	<i>Navicula</i> sp.	NAV SP			3	10
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	TAB FLO	42			26
<b>Cianófitas</b>	<i>Merismopedia</i> sp.	MER SP			51	
	<i>Microcystis</i> sp.	MIC SP			15506	1558
	<i>Oscillatoria</i> sp.	OSC SP	5			
<b>Clorófitas</b>	<i>Closterium acutum</i>	CLO ACU	3			8
	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	CRU TET				5
	<i>Monoraphidium arcuatum</i>	MON ARC	10			
	<i>Monoraphidium contortum</i>	MON COM	58			
	<i>Scenedesmus communis</i>	SCE COM	3			8
	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	SCE DIM				3
	<i>Staurastrum</i> sp.	STA SP			10	
<b>Criptófitas</b>	<i>Chroomonas</i> sp.	CHR SP	288	134	16	
	<i>Cryptomonas</i> sp.	CRY SP	8		10	
<b>Crisófitas</b>	<i>Mallomonas tonsurata</i>	MAL TON	29			
	<i>Dinobryon divergens</i>	DIN DIV			18	
			CANI INV	CANI PRI	CANI VER	CANI OUT
<b>Bacilariófitas</b>	<i>Asterionella formosa</i>	AST FOR	13			5
	<i>Cyclotella</i> sp.	CYC SP	13	13	92	13
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	FRA CRO	7			
	<i>Nitzschia</i> sp.	NIT SP				3
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	TAB FLO	1493	642		8
<b>Cianófitas</b>	<i>Aphanizomenon</i> sp.	APHNI SP	20			2
<b>Clorófitas</b>	<i>Cosmarium</i> sp.	COS SP	7			
	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	CRU TET	20			18
	<i>Monoraphidium</i> sp.	MON SP				3
	<i>Quadrigula</i> sp.	QUA SP			52	
	<i>Scenedesmus communis</i>	SCE COM	33		13	5
	<i>Staurodesmus</i> sp.	STA SP		7		
	<i>Tetraedron caudatum</i>	TET CAU				3
	<i>Tetraedron minimum</i>	TET MIN	33			
<i>Tetraedron</i> sp.	TET SP	7				