

# **A Eutrofização das Lagoas das Sete-Cidades e Furnas (S. Miguel – Açores) Análise evolutiva entre 1988 e 2002.**

**Maria da Conceição Raimundo SANTOS**

*Profª Auxiliar, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa - Quinta da Torre - 2829-516 Caparica, mcrcs@fct.unl.pt*

**Dina Maria D. M. PACHECO**

*Mestre em Biologia, Secretaria Regional do Ambiente / Direcção Regional do Ordenamento do território e dos Recursos Hídricos - Avenida Antero de Quental - Edifício dos CTT 2º A – 9 500-160 Ponta Delgada, dinaMDM.Pacheco@azores.gov.pt*

**Fernando José Pires SANTANA**

*Profª Catedrático, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa - Quinta da Torre - 2829-516 Caparica*

**António Manuel Fernandes RODRIGUES**

*Profª Auxiliar, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa - Quinta da Torre - 2829-516 Caparica*

## **Resumo:**

A eutrofização das massas de água, resultante de actividades antropogénicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas, constitui um dos problemas mais graves de degradação da qualidade física, química e biológica da água. Esta problemática tem sido objecto de diversos estudos ao longo dos últimos trinta anos mas, a complexidade do problema, fortemente condicionado pelas características climáticas, orográficas e hidrológicas das regiões onde se situam as massas de água atingidas, tem dificultado a análise evolutiva em algumas situações concretas de eutrofização através da aplicação dos modelos desenvolvidos.

As Lagoas das Sete-Cidades e Furnas, situadas na Ilha de S. Miguel (Açores), têm vindo a sofrer um processo de eutrofização potenciado pela existência de exploração agro-pecuária intensiva no seio das respectivas bacias hidrográficas. A degradação da qualidade da água e as alterações no ecossistema aquático têm preocupado a população em geral e a administração pública regional em particular, que tem procurado acompanhar a evolução deste problema através da realização de campanhas periódicas de monitorização.

Neste trabalho é apresentada uma análise das causas possíveis do processo de eutrofização e da evolução do estado trófico das lagoas acima referidas, baseada em resultados de campanhas de amostragem e monitorização realizadas entre 1988 e 2002. Pretende-se, assim, contribuir para um conhecimento mais aprofundado da forma como o processo tem evoluído nos últimos anos e para uma análise prospectiva do futuro destas lagoas à luz do actual cenário de desenvolvimento económico-social e de cenários alternativos.

**Palavras-Chave:** Qualidade da água, lagoas, nutrientes, eutrofização.

## 1. INTRODUÇÃO

A eutrofização é reconhecida como um dos problemas de qualidade da água de maior importância na actualidade. Investigações recentes demonstraram que 53% dos lagos europeus se encontram eutrofizados, o mesmo acontecendo a 28% dos situados em África, 48% e 41% dos que se localizam, respectivamente, na América do Norte e na América do Sul, enquanto no continente asiático essa proporção atinge 54% (Chorus & Bartram, 1999). Alterações da natureza e da escala das actividades humanas têm contribuído para a degradação da qualidade das águas, tanto subterrâneas como superficiais (mares, rios, lagos e reservatórios), sendo nestas últimas a eutrofização um dos aspectos mais visíveis desse problema. As lagoas das Sete-Cidades e Furnas são exemplos, à escala regional, de um problema que é global e que vem afectando, indiscriminadamente, meios aquáticos naturais de todo o planeta.

De acordo com estudos realizados pela OCDE, que abrangeram lagos de diversas dimensões localizados em zonas temperadas, a eutrofização cultural (potenciada pela actividade humana) tem provocado uma deterioração acentuada da qualidade da água, interferindo com os seus usos mais nobres, nomeadamente a produção de água destinada ao consumo humano, e provocando perdas económicas significativas. O impacto da eutrofização sobre os usos recreativos da água e o turismo têm sido das áreas mais sensíveis para a opinião pública dos países com massas de água eutrofizadas (Vollenweider & Kerekees (1982) *in*: Mandaville (2000)).

A eutrofização resulta de um incremento da intensidade dos processos de produção biológica das massas de água, provocada por aumentos dos níveis de nutrientes, com especial relevância para o azoto e fósforo. Os resultados mais visíveis da eutrofização são a ocorrência de espumas superficiais, desenvolvimentos explosivos de algas ou cianobactérias e de plantas macrófitas flutuantes ou enraizadas. Em zonas não urbanizadas, são as perdas de nutrientes a partir de terrenos agrícolas, devidas a fenómenos de erosão e escorrências superficiais e sub-superficiais, que mais contribuem para a eutrofização. Os lagos, por geralmente apresentarem tempos de retenção da água mais elevados que os rios, são particularmente vulneráveis à eutrofização pois tendem a acumular sedimentos e substâncias químicas a eles associadas. Nestas massas de água, os sedimentos actuam como depósito de nutrientes e fontes dos mesmos, pois, em determinadas condições, voltam a libertá-los e a torná-los de novo assimiláveis pelos organismos fitoplanctónicos.

Quando as condições de temperatura, luminosidade e disponibilidade de nutrientes são favoráveis ao desenvolvimento do fitoplâncton, algas e cianobactérias podem multiplicar-se com facilidade. Quando esta proliferação é dominada por uma ou mais espécies, mas em número limitado, pode dizer-se que se está na presença de uma florescência (ou "bloom"). Em meios aquáticos não eutrofizados de regiões temperadas, a sucessão anual de espécies fitoplanctónicas ocorre normalmente através de uma maior incidência de algas diatomáceas e pequenos organismos flagelados durante o Inverno e início da Primavera, seguida de uma predominância de algas verdes em plena Primavera e início de Verão e finalmente por um maior desenvolvimento de dinoflagelados e algas verdes ou amarelas de maiores dimensões no Verão e Outono. Em meios eutrofizados, as cianobactérias geralmente dominam a população fitoplanctónica durante o Verão e início do Outono, sendo substituídas por diatomáceas à medida que o Inverno se aproxima, que aumenta a turbulência da massa de água e diminui a intensidade luminosa (Chorus, 1999).

A predominância de cianobactérias nos meses mais quentes do ano, em climas temperados, tem vindo a ser explicada por uma melhor adaptação destes microrganismos a temperaturas mais elevadas, capacidade de capturar a luz em comprimentos de onda não utilizados por algas verdes e possibilidade de se desenvolverem em condições de baixa razão azoto:fósforo e de reduzida concentração de carbono inorgânico dissolvido (Steinburg & Hartmann, 1988; Shapiro, 1990; Blomqvist, 1994, *in* Whitton & Potts, 2000). Para além destas características comuns à maior parte das cianobactérias, outras existem apenas em algumas, como a possibilidade de regulação da flutuação, a

fuga à predação e a capacidade de acumulação intracelular de fósforo. Estas características permitem a alguns géneros de cianobactérias, umas fixadoras de azoto atmosférico, como *Anabaena* spp. e *Aphanizomenon* spp., e outras não fixadoras, como *Microcystis* spp., predominar e atingir desenvolvimentos explosivos (Whitton & Potts, 2000).

Em águas captadas para produção de água para consumo humano e em águas utilizadas com fins recreativos, considera-se que ocorre um desenvolvimento explosivo ou “bloom”, que pode ou não ter consequências nefastas para a saúde humana, sempre que são atingidos valores iguais ou superiores a  $10\mu\text{g.L}^{-1}$  de clorofila *a*, ou  $20 \times 10^6 \text{cel.L}^{-1}$  de organismos fitoplanctónicos. Estes desenvolvimentos explosivos podem ser dominados por cianobactérias ou por outros organismos fitoplanctónicos, como algas verdes ou castanhas, mas só se tornam visíveis ao observador desprevenido quando ocorre a acumulação de grandes quantidades de biomassa à superfície da água. Com excepção das cianobactérias, apenas a alga verde *Botryococcus braunii* é conhecida por provocar “blooms” de acumulação superficial, pois sintetiza e armazena óleos que tornam as suas células menos densas que a água, o que lhes permite flutuar (Whitton & Potts, 2000). Um desenvolvimento destes foi observado na Lagoa das Furnas em finais de 1992.

As cianobactérias podem ocorrer em desenvolvimentos explosivos sem que os mesmos se tornem aparentes. É o que acontece quando a espécie dominante se encontra disseminada por toda a massa de água da lagoa correspondente à zona eufótica, por não ter capacidade de regular a flutuação, ou se refugia em camadas de profundidade intermédia para se proteger de intensidades luminosas mais elevadas, como as espécies de *Oscillatoria* sp. (ou *Planktothrix*). Espécies que, como a anterior, têm capacidade de regulação da flutuação e suportam maiores intensidades luminosas, como *Microcystis* sp. ou *Anabaena* sp., acumulam-se em grande quantidade à superfície das massas de água dando origem à formação de espumas que alteram o valor paisagístico das mesmas e podem constituir um risco para a saúde de pessoas e animais (Whitton & Potts, 2000).

A formação de espumas superficiais, quando os “blooms” são dominados por espécies de cianobactérias como as referidas anteriormente, ocorre geralmente quando se inicia o processo de estratificação térmica das massas de água e pode prolongar-se no tempo enquanto o mesmo se mantém. Com efeito, são as condições de águas calmas que propiciam a flutuação das células e a sua aglomeração em colónias formando grandes massas superficiais. As espumas destes microrganismos podem surgir em poucas horas, especialmente no período da manhã, em condições de vento inferiores a  $4\text{m.s}^{-1}$ . À medida que declina a velocidade do vento aumenta a acumulação de espumas que podem ser arrastadas por correntes horizontais, mesmo em situações de vento soprando a menos de  $3\text{m.s}^{-1}$ , acumulando-se em zonas de margem (Whitton & Potts, 2000).

As cianobactérias do género *Microcystis* sp. possuem, para além da capacidade de regular a sua própria flutuação, outras características que facilitam a sua dominância, como uma elevada taxa de assimilação de fósforo, a possibilidade de sobreviverem com conteúdos celulares mínimos daquele nutriente e uma grande capacidade de o armazenar. Não possuem, contudo, capacidade de fixação de azoto atmosférico pelo que o seu aparecimento se restringe a meios aquáticos contendo azoto na forma amoniacal ou de nitratos (Whitton & Potts, 2000).

Embora a eutrofização venha sendo considerada, desde a década de cinquenta do século vinte, como um problema de qualidade da água de preocupação crescente, apenas recentemente foi estabelecida a relação entre este problema e a possível ocorrência de toxinas. Com efeito, se a eutrofização induz a proliferação de cianobactérias e se uma proporção significativa destes seres fitoplanctónicos produz toxinas, então a probabilidade de em meios eutrofizados ocorrerem toxinas potentes que, através de ingestão ou contacto com a pele, representem um risco para a saúde humana, de animais domésticos ou mesmo da vida selvagem, é mais elevada.

Nem sempre os “blooms” de cianobactérias têm apresentado características de toxicidade hepática ou neurológica, no entanto, tem aumentado a frequência de detecção de microcistinas, as hepatotoxinas mais conhecidas, ou de outras toxinas. Estudos realizados permitiram verificar que o

conteúdo celular em cianotoxinas é mais elevado a intensidades luminosas mais adequadas ao crescimento máximo das estirpes ocorrentes e a temperaturas situadas entre 18°C e 25°C (Chorus, 1999). Estas condições verificam-se durante o Verão na maior parte dos climas temperados e em S. Miguel-Açores começam a ocorrer logo a partir da Primavera, prolongando-se até meados do Outono. Por outro lado, sendo as cianotoxinas solúveis em água, a eliminação da biomassa em suspensão não assegura a ausência de toxicidade na água, o que é particularmente problemático em águas captadas para produção de água para consumo humano.

Sendo reconhecida, há já alguns anos, a existência de um processo de eutrofização que afecta as lagoas das Sete-Cidades e das Furnas, não é estranho o aparecimento recente de desenvolvimentos explosivos recorrentes de cianobactérias. Desta forma, reveste-se da maior importância a vigilância que tem vindo a ser efectuada através da monitorização da qualidade da água e da pesquisa de toxinas nestas massas de água. A informação que tem vindo a ser recolhida permitirá à Secretaria Regional do Ambiente dos Açores, não só consubstanciar as medidas preventivas e curativas de melhoria da qualidade da água e protecção do valor paisagístico destes meios aquáticos, como proteger a saúde pública dos utilizadores da água, com fins recreativos ou de consumo.

## 2. CAUSAS DA EUTROFIZAÇÃO NAS LAGOAS DAS SETE-CIDADES E FURNAS

### 2.1 Lagoa das Sete-Cidades

A Lagoa das Sete-Cidades ocupa uma área de 445,5ha e é constituída por duas sub-unidades, a Lagoa Azul (357,3ha) e a Lagoa Verde (88,2ha). Possui uma bacia hidrográfica com 1459,3ha, ocupada principalmente por pastagens permanentes (458,17ha), floresta (833,19ha), zonas agrícolas (42,20ha) e áreas sociais (31,89ha). As fontes pontuais de nutrientes, provenientes da localidade das Sete-Cidades, foram já desviadas da Lagoa através da construção de um sistema de intercepção e colecta de águas residuais, pelo que a carga nutritiva que presentemente aflui à massa de água é proveniente de escorrências superficiais e sub-superficiais, directas e difusas, originadas nos terrenos da bacia hidrográfica.

Na bacia hidrográfica das Sete-Cidades, com um escoamento total médio de 14.419.343m<sup>3</sup>/ano, podem ser identificadas duas sub-bacias principais, a da Vala das Sete-Cidades e a da Grota do Inferno, que debitam em média, a primeira 2.828.673m<sup>3</sup>/ano e a segunda 3.304.258m<sup>3</sup>/ano, o que perfaz um débito médio de ambas de 6.132.931m<sup>3</sup>/ano. Para além destas, existem ainda diversas outras linhas de água de menores dimensões, que no seu conjunto contribuem, em média, com 8.286.412m<sup>3</sup>/ano de água para a lagoa (Porteiro *et al.*, 1998)

Com base em trabalhos realizados em 1997 e 1998 (Porteiro *et al.*, 1998), pode estimar-se em 20,5ton de azoto e 3,2ton de fósforo a carga nutritiva média descarregada anualmente na Lagoa das Sete-Cidades através das linhas de água afluentes. Esta cargas correspondem aos seguintes valores médios por unidade de área:

4,59g N/m<sup>2</sup> ano e 0,72g P/m<sup>2</sup> ano.

Segundo Vollenweider (*in* Harper, 1992), as cargas máximas permissíveis e as cargas com perigo de eutrofização, em lagoas com uma profundidade média como a da Lagoa das Sete-Cidades, e que é da ordem de 20m, devem ser as seguintes:

- Cargas máximas permissíveis: .....2,40g N/m<sup>2</sup> ano e 0,16g P/m<sup>2</sup> ano
- Cargas com perigo de eutrofização: .....4,88g N/m<sup>2</sup> ano e 0,32g P/m<sup>2</sup> ano

Comparando com estes valores a carga nutritiva média afluente à lagoa através das linhas de água, pode-se concluir que a carga de azoto tem sido, em média, 1,9 vezes superior à carga máxima permissível mas ligeiramente inferior à carga de perigo. Quanto ao fósforo, a carga real média afluente à lagoa tem sido 4,5 vezes mais elevada que a carga máxima permissível e 2,3 vezes superior à carga de perigo.

Se tivermos em conta as quantidades de fertilizantes aplicadas aos solos, e que, segundo Porteiro *et al.* (1998), são 746Kg N/ha ano e 27,8Kg P/ha ano, na área de pastagens existente na bacia hidrográfica serão utilizados 341,8ton N/ano e 12,7ton P/ano. Se a estas quantidades de azoto e fósforo aplicadas sob a forma de fertilizantes forem adicionados os nutrientes produzidos pelo efectivo pecuário (87,6ton N/ano e 13,7ton P/ano), verifica-se que estes solos receberão 429,4ton N/ano e 26,4ton P/ano. Considerando que as perdas de azoto e fósforo a partir de pastagens permanentes, em regiões temperadas com elevadas precipitações anuais, podem atingir 10% a 40% de primeiro nutriente (Anon, 1983 *in* Harper, 1992) e 6% a 12 % do segundo (Cooke & Williams, 1970, 1973 *in* Harper, 1992), a estimativa das quantidades de nutrientes que têm atingido a Lagoa com origem nas áreas ocupadas por pastos seria, para o valor mais baixo de perdas, de 42,9ton N/ano e 1,58ton P/ano, o que corresponde a 93,6Kg N/ha ano e 3,45Kg P/ha ano.

No entanto, se considerarmos os valores médios de concentração de azoto e fósforo encontrados nas duas amostras de escorrências de pastagens apresentados por Porteiro *et al.* (1998), (23,31mg N/L e 2,88mg P/L) e o valor médio de escorrências para a lagoa a partir da bacia hidrográfica de 9881m<sup>3</sup>/ha, chega-se à conclusão que da área de pastagens poderão ser lexiviados 105,5ton N/ano e 13,0ton P/ano (230Kg N/ha.ano e 28Kg P/ha.ano). Estes valores correspondem, respectivamente, a 24,6% do azoto e 49,2% do fósforo adicionados aos solos.

Por outro lado, é preciso não esquecer que a área florestal, ainda que não fertilizada artificialmente, também contribui com nutrientes para a massa de água. As perdas de azoto em zonas florestais não perturbadas foi estimada em 2 a 5Kg N/ha ano (Bormann *et al.*, 1968 *in* Harper,1992) e as perdas de fósforo, em florestas vulcânicas podem atingir 720g P/ha ano (Dillon & Kirchner, 1974 *in* Harper, 1992). Deste modo, a área florestal da bacia hidrográfica das Sete-Cidades (833,19ha) poderá contribuir com, pelo menos, 1,67 tonN/ano e 0,60ton P/ano.

Considerando os valores médios das concentrações de azoto e fósforo obtidas em três amostras de escorrências de zonas florestais (0,46mgN/L e 0,02mgP/L) (Porteiro *et al.*,1998), o contributo nutritivo da área florestada poderá ser estimado em 3,79KgN/ano e 0,17KgP/ano, ou seja 4,55KgN/ha.ano e 0,20Kg P/ha.ano). A carga de azoto seria então superior à estimado anteriormente com base em dados bibliográficos, e a de fósforo muito inferior.

Os dados aqui apresentados encontram-se resumidos no Quadro I.

Quadro I – Cargas de nutrientes permissíveis, de perigo e afluentes à Lagoa das Sete-Cidades (S. Miguel – Açores)

		<b>Azoto</b> (g N/m <sup>2</sup> ano)	<b>Fósforo</b> (g P/m <sup>2</sup> ano)
Cargas máximas que poderiam afluir à Lagoa das Sete-Cidades	Máxima permissível	2,40	0,16
	Carga com perigo de eutrofização	4,88	0,32
Carga nutritiva transportada pelas linhas de água (estimativa baseada em dados de Porteiro <i>et al.</i> ,UA, 1998)		4,59	0,72
Carga máxima que pode atingir a lagoa (com base em estimativas de perda de nutrientes recolhidos em bibliografia da especialidade)	A partir da área de pastagens	9,63	0,35
	A partir da área florestal	0,37	0,13
	Total	9,97	0,48
Carga máxima que pode atingir a lagoa (com base em estimativas de perda de nutrientes resultantes do trabalho de Porteiro <i>et al.</i> ,UA, 1998))	A partir da área de pastagens	23,7	2,92
	A partir da área florestal	0,85	0,04
	Total	24,6	2,96

A exiguidade do número de amostras recolhidas nas áreas florestal e de pastagens, conduz a uma incerteza acentuada destas estimativas, no entanto, não deixam de ser preocupantes pois

significam que nas áreas de floresta e pastagens são mobilizados anualmente 109ton N e 13,2ton P. Destes montantes, 18,8% de azoto e 24,3% de fósforo serão, em média, veiculados pelas linhas de água e os restantes poderão atingir a lagoa através de escorrências difusas. Estas cargas, se atingirem a lagoa, correspondem a 24,6g N/m<sup>2</sup>.ano e 2,96g P/m<sup>2</sup>.ano, sendo 10,2 e 18,5 vezes superiores às cargas máximas admissíveis de azoto e fósforo e 5,0 e 9,2 vezes superiores às cargas de perigo para a lagoa dos mesmos nutrientes.

As considerações aqui apresentadas demonstram até que ponto é elevada a carga nutritiva que poderá estar a afluir às lagoas.

## 2.2 Lagoa das Furnas

A Lagoa das Furnas tem uma área de plano de água de 192 ha e a sua bacia hidrográfica ocupa 1244,3ha, sendo 460,5ha de pastagens permanentes, 533,1ha de floresta e 5,7ha zonas agrícolas (Porteiro *et al.*, 1998).

A carga nutritiva que presentemente aflui à massa de água é proveniente de escorrências superficiais e sub-superficiais, directas e difusas, originadas nos terrenos da bacia hidrográfica. De acordo com os estudos realizados por Porteiro *et al.*, 1998, o escoamento total médio nesta bacia é de 22.163.450m<sup>3</sup>/ano, superior ao registado na bacia das Sete-Cidades, embora a sua área seja menor. Na Bacia Hidrográfica da Lagoa das Furnas foram identificadas como sub-bacias principais a da Ribeira do Salto da Inglesa, que debita em média 5.928.066m<sup>3</sup>/ano, a da Ribeira do Rosal, com 7.102.998m<sup>3</sup>/ano e a das Ribeiras do Castelo Branco, com 3.153.600m<sup>3</sup>/ano. As duas primeiras sub-bacias são responsáveis pela drenagem de 70% da área total da bacia hidrográfica, escoando um débito médio de 13.031.064m<sup>3</sup>/ano, o que corresponde a 58,8% do escoamento total. As restantes linhas de água, de menores dimensões, deverão contribuir, em média, com 5.978.786m<sup>3</sup>/ano de água para a lagoa.

Com base em dados apresentados por Porteiro *et al.*, 1998, relativos às concentrações de azoto e fósforo nas principais linhas de água afluentes à lagoa ( amostras recolhidas em 1997 e 1998) e aos volumes de água transportados pelas linhas de água, pode estimar-se em 29,8ton de azoto e 1,44ton de fósforo a carga nutritiva média descarregada anualmente na Lagoa das Furnas pelas linhas de água. Estas cargas correspondem aos seguintes valores médios por unidade de área:

15,5 g N/m<sup>2</sup> ano e 0,75 g P/m<sup>2</sup> ano.

Estas cargas são superiores às estimadas para a Lagoa das Sete-Cidades (4,59g N/m<sup>2</sup> ano e 0,72g P/m<sup>2</sup> ano), a qual, com sub-unidades de profundidade mais elevada, poderia suportar cargas nutritivas mais elevadas que a Lagoa das Furnas. Com efeito, segundo Vollenweider (*in* Harper, 1992), em lagoas como a Lagoa das Furnas, com uma profundidade média de 10 a 12 m, devem ser consideradas como cargas máximas permissíveis e cargas com perigo de eutrofização as seguintes:

- Cargas máximas permissíveis: ..... 1,5 g N/m<sup>2</sup> ano e 0,10 g P/m<sup>2</sup> ano
- Cargas com perigo de eutrofização: ..... 3,0 g N/m<sup>2</sup> ano e 0,20 g P/m<sup>2</sup> ano

Desta forma, a carga de azoto afluente à lagoa através das linhas de água, tem sido, em média, 10 vezes superior à carga máxima permissível e 5 vezes superior à carga de perigo. Quanto ao fósforo, a carga real média afluente à lagoa tem sido 7,5 vezes mais elevada que a carga máxima permissível e 4 vezes superior à carga de perigo.

Estas estimativas permitem perceber a razão pela qual a Lagoa das Furnas apresenta um estado de eutrofização mais avançado que a Lagoa das Sete-Cidades.

Se tivermos em conta as já referidas quantidades de fertilizantes aplicadas aos solos, no total da área de pastagens serão utilizados cerca de 257ton N/ano e 12,8tonP/ano. Se a estas quantidades de azoto e fósforo referentes aos fertilizantes utilizados forem adicionados os nutrientes produzidos pelo efectivo pecuário existente na Bacia Hidrográfica (57,8ton N/ano e 8,6ton P/ano), verifica-se que estes solos receberão 314,8ton N/ano e 21,4ton P/ano. Considerando as anteriormente referidas perdas de

azoto e fósforo a partir de pastagens permanentes de regiões temperadas com elevadas precipitações anuais (10% a 40% de primeiro nutriente e 6% a 12 % do segundo), a quantidade de azoto que tem atingido a Lagoa com origem na área de pastagens pode estimar-se como estando compreendida entre 31,5ton N/ano e 125,9ton N/ano e a de fósforo como sendo de 1,28ton P/ano a 2,57 ton P/ano. Estes valores correspondem a 68,4Kg N/ha.ano a 273,4Kg N/ha.ano e a 2,78Kg P/ha.ano a 5,58Kg P/ha.ano.

Considerando ainda as perdas de nutrientes que podem ocorrer em áreas florestais (2 e 5KgN/ha.ano e 0,1 e 0,72KgP/ha.ano de fósforo), a área florestal da bacia hidrográfica das Furnas (533,1ha) poderá contribuir com 1,07ton N/ano a 2,67ton N/ano e 0,38ton P/ano a 0,53ton P/ano.

Desta forma, o conjunto das áreas de pastagem e florestais poderão contribuir com 32,6tonN/ano a 128,6 ton N/ano e 1,66 ton P/ano a 3,10 ton P/ano. As estimativas aqui apresentadas são baseadas em dados recolhidos na bibliografia da especialidade, uma vez que não existem dados reais relativos à Bacia Hidrográfica da Lagoa das Furnas.

Comparando as estimativas obtidas para as perdas de nutrientes nas áreas ocupadas com pastagens e floresta com os dados relativos à afluência de nutrientes à lagoa através das linhas de água (valores médios respeitantes a 5 amostragens), verifica-se que as quantidades de azoto e fósforo transportadas em média pelas ribeiras (29,8ton N/ano e 1,44ton P/ano) eram inferiores aos valores mais baixos estimados para as perdas daqueles nutrientes a partir dos solos (32,6tonN/ano e 1,66tonP/ano). Isto significa que, ou as estimativas efectuadas com base em dados bibliográficos são superiores às perdas reais registadas, ou uma parte importante da carga nutritiva poderá estar a afluir à lagoa através de escoamento difuso.

No caso de a segunda hipótese atrás referida se verificar, a Lagoa das Furnas poderá estar a receber, por unidade de área, as seguintes cargas:

- 17,0g N/m<sup>2</sup>.ano a 67,0g N/m<sup>2</sup>.ano e 0,86g P/m<sup>2</sup>.ano a 1,61g P/m<sup>2</sup>.ano.

Estas cargas são 5,7 a 22,3 vezes superiores à carga de azoto considerada com perigo de eutrofização e 4,3 a 8,1 vezes superiores à carga de fósforo representativa do mesmo risco.

Os dados aqui apresentados encontram-se resumidos no Quadro II.

Quadro II – Cargas de nutrientes permissíveis, de perigo e afluentes à Lagoa das Furnas (S. Miguel – Açores)

		Azoto (g N/m <sup>2</sup> ano)	Fósforo (g P/m <sup>2</sup> ano)
Cargas máximas que poderiam afluir à Lagoa das Furnas	Máxima permissível	1,5	0,10
	Carga com perigo de eutrofização	3,0	0,20
Carga nutritiva média transportada pelas linhas de água (estimativa baseada em dados de Porteiro <i>et al.</i> , UA, 1998)		15,5	0,75
Cargas que podem atingir a Lagoa das Furnas (com base em estimativas de perda de nutrientes recolhidas em bibliografia da especialidade)	A partir da área de pastagens	16,4 a 65,6	0,67 a 1,34
	A partir da área florestal	0,56 a 1,39	0,20 a 0,28
	Total	17,0 a 67,0	0,86 a 1,61

Tal como foi referido para a Bacia Hidrográfica das Sete-Cidades, os resultados deste exercício, devem ser analisados com precaução, na medida em que são baseados em estimativas de perdas de nutrientes não comprovadas para as condições de solo, relevo e clima prevalentes na Bacia Hidrográfica da Lagoa das Furnas e em resultados analíticos respeitantes a um número muito limitado (cinco) de amostragens realizadas nas linhas de água afluentes à lagoa. No entanto, são preocupantes pois traduzem a existência de uma carga nutritiva afluente à lagoa muito importante e que importa limitar.

### **3. ANÁLISE EVOLUTIVA DA SITUAÇÃO DE EUTROFIZAÇÃO**

#### **3.1 Metodologia**

A eutrofização das lagoas das Sete-Cidades e Furnas começou a ser objecto de estudo em 1988/89, através da realização de seis campanhas de amostragem destinadas a efectuar a caracterização do estado de qualidade da água e avaliar o estado trófico das lagoas (Santos *et al*, 1991). A monitorização da qualidade da água foi retomada em 1992/93 e, após novo interregno em 1994/95, prossegue até ao momento presente. Neste trabalho é apresentada uma súpula dos resultados obtidos durante os diversos trabalhos efectuados pela UNL [Santos *et al*, 1991, 1993 e 2001/2003] e pelo INOVA (1998), para monitorização do estado de qualidade destas águas, por solicitação da Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos da Secretaria Regional de Ambiente dos Açores.

Na Lagoa das Furnas, no sentido de diminuir a carga interna de fósforo registada durante os períodos de estratificação térmica, foi instalado um sistema de arejamento e circulação artificial da massa de água da lagoa. Este sistema, constituído por duas linhas de distribuição de ar, com 700 m de comprimento cada uma, alimentadas no seu centro por uma outra, com cerca de 500 m, ligada a um compressor, tem uma potência de 197 CV e um débito de  $390\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$  de ar a uma pressão de 7 bar e foi instalado em Abril de 1995, altura em que se iniciou, nesta lagoa, novo período de monitorização. A situação de ausência de estratificação na lagoa manteve-se durante todos os períodos de Primavera/Verão de 1995, 1996 e 1997. Nos Verões de 1998 e 1999, devido a danos causados no equipamento pelas inundações resultantes dos temporais do Outono/Inverno de 1997, o arejamento não funcionou. Em 2000 o arejamento voltou a funcionar para ser de novo interrompido o seu funcionamento em 2001 e 2002.

As campanhas de amostragem, realizadas em diversas épocas do ano, incidiram sobre um ponto central de cada uma das lagoas, Azul, Verde (Sete-Cidades) e Furnas, localizado sensivelmente ao centro de cada lagoa e na zona de maior profundidade. Neste ponto foram efectuadas medições de profundidade de penetração da luz (disco de Secchi) e de temperatura, pH, oxigénio dissolvido, turvação e condutividade, entre a superfície e o fundo, com intervalos de 1m. Foram recolhidas amostras a quatro níveis de profundidade - superfície, 2,5m, 5m e cerca de 0,5m acima do fundo – na Lagoa das Furnas e a seis níveis – superfície, 2,5m, 5m, 10m, 15m e 0,5m acima do fundo – nas lagoas Azul e Verde (Sete-Cidades). Estas amostras foram submetidas a caracterização físico-química, sendo de salientar a determinação da concentração das diversas formas dos nutrientes azoto e fósforo e da clorofila *a*. Em simultâneo foram recolhidas amostras, às mesmas profundidades, para, através de mistura de iguais porções, se obter uma amostra composta para análise fitoplanctónica.

Para a análise evolutiva do processo de eutrofização, para além dos dados referentes à caracterização fitoplanctónica, foram utilizados valores médios, mínimos e máximos registados em cada período de monitorização considerado, 1988/89 (UNL – seis amostragens), 1992/93 (UNL – quatro amostragens), 1996/98 (nove amostragens) e 2000/2002 (seis amostragens), obtidos a partir de dados relativos a concentrações médias de coluna de água de clorofila *a* e dos parâmetros físico-químicos mais relevantes, determinados para cada amostragem.

#### **3.2 Lagoas das Sete-Cidades**

No Quadro III são apresentados os valores médios, mínimos e máximos da transparência da massa de água (disco de Secchi), clorofila *a*, azoto inorgânico total e fósforo total, registados para as lagoas das Sete-Cidades nos períodos de monitorização considerados.

A transparência da massa de água nestas lagoas foi mais elevada no período 1992/93, altura em que se registaram também as concentrações menos elevadas de azoto inorgânico total e clorofila *a*. Após este período voltaram a verificar-se valores semelhantes aos encontrados em 1988/89. Em



períodos mais recentes, as concentrações de fósforo total e azoto inorgânico total na sub-unidade Lagoa Verde atingiram sempre níveis característicos de meios meso-eutróficos (Vollenweider, 1968 in Harper, 1992) embora a sub-unidade Lagoa Azul tenha apresentado concentrações menos elevadas de ambos os nutrientes (Figura 1). Também as observações da transparência e as medições da clorofila *a* foram características de meios mesotróficos na Lagoa Azul e de meios eutróficos na Lagoa Verde (segundo classificação da OCDE in Harper, 1992).

Quadro III – Valores médios, mínimos e máximos de penetração da transparência da água (Disco de Secchi) e das concentrações de clorofila *a*, fósforo total e azoto inorgânico total registados nas lagoas Azul e Verde (Sete-Cidades, S. Miguel – Açores) nos quatro períodos de monitorização considerados

	1988/1989 (UNL)			1992/1993 (UNL)			1996/1998 (INOVA)			2000/2002 (UNL)		
	Média	Max.	Min.	Média	Max.	Min.	Média	Max.	Min.	Média	Max.	Min.
<b>Transparência – Disco de Secchi (m)</b>												
<b>L. Azul</b>	2,9	4,0	2,0	5,2	7,5	3,5	2,4	3,2	1,9	2,8	4,8	0,2
<b>L. Verde</b>	2,6	4,0	1,5	2,5	3,0	1,8	2,5	3,5	2,0	3,2	4,6	2,1
<b>Clorofila <i>a</i> (µg.L<sup>-1</sup>)</b>												
<b>L. Azul</b>	5,29	8,58	0,99	2,59	4,51	1,14	7,92	13,04	2,75	3,33	4,81	1,25
<b>L. Verde</b>	9,26	13,31	4,10	7,27	14,37	2,08	10,25	25,23	1,38	6,02	8,81	3,63
<b>Fósforo total (µg.L<sup>-1</sup>)</b>												
<b>L. Azul</b>	---	---	---	---	---	---	20	42	6	15	19	12
<b>L. Verde</b>	---	---	---	---	---	---	27	60	10	21	30	14
<b>Azoto inorgânico total (µg.L<sup>-1</sup>)</b>												
<b>L. Azul</b>	250	420	100	90	180	0	---	---	---	540	610	230
<b>L. Verde</b>	320	550	120	125	10	240	---	---	---	620	860	320

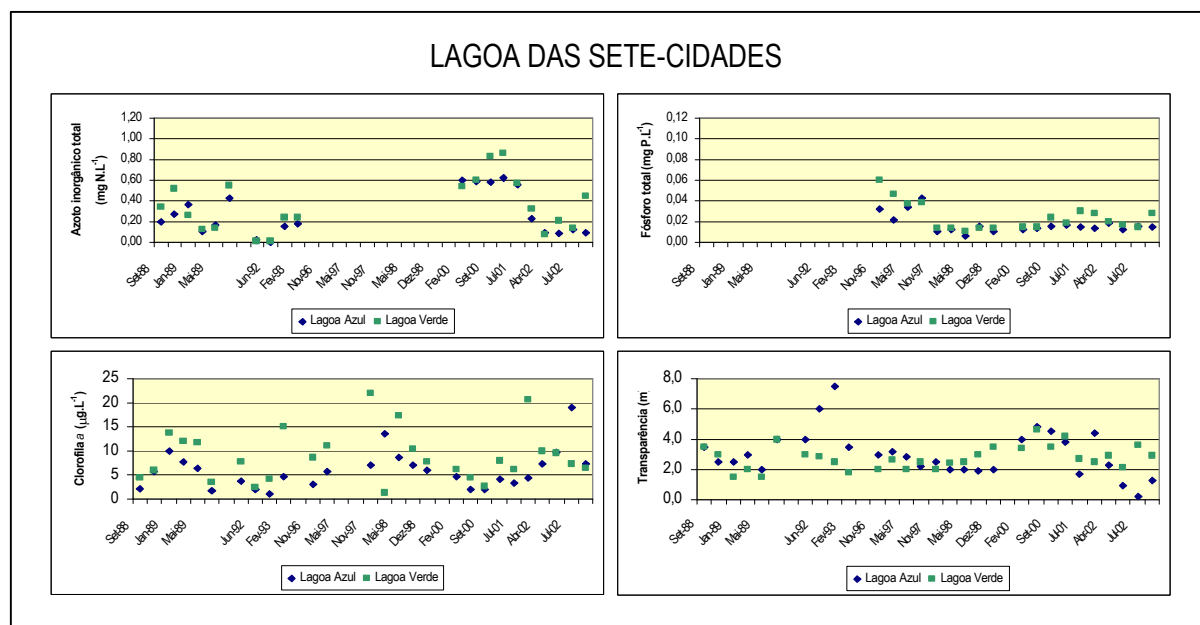


Figura 1 – Evolução temporal da transparência da massa de água e das concentrações de azoto inorgânico total, fósforo total e clorofila *a* nas lagoas Azul e Verde das Sete-Cidades.

A confirmação da tendência destas lagoas para a eutrofia é obtida com a observação dos valores de Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI), calculados para os parâmetros fósforo total, clorofila *a* e

transparência (disco de Secchi), que, situando-se frequentemente acima de 45 e atingindo por vezes valores superiores a 50, são característicos de meios meso-eutróficos (Carlson, 1977 in Cooke et al, 1993).

A densidade fitoplantónica tem vindo a aumentar nestas lagoas (Figura 2), verificando-se cada vez com maior frequência uma predominância de cianobactérias em relação às classes algológicas encontradas (Figura 3). No período de 2000/2002, a população de cianobactérias dominou as restantes em todas as amostragens realizadas na Lagoa Verde, enquanto na Lagoa Azul apenas em uma amostra a percentagem destes organismos foi inferior a 50%.

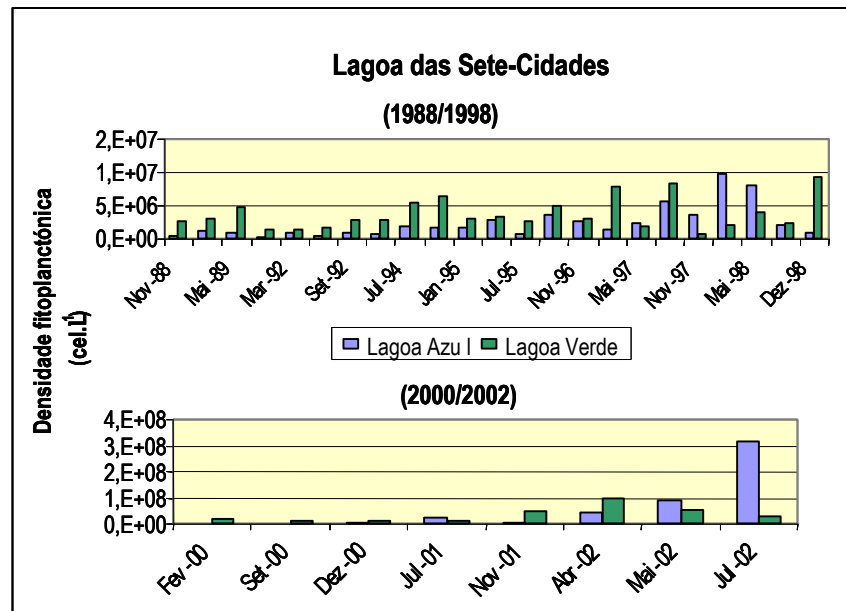


Figura 2 – Evolução temporal da densidade populacional da comunidade fitoplantónica nas lagoas Azul e Verde das Sete-Cidades.

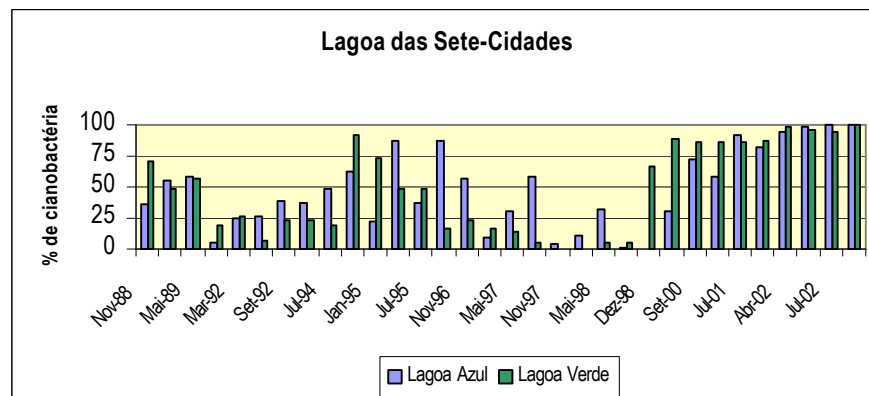


Figura 3 – Variação temporal da percentagem de cianobactérias na população fitoplantónica das lagoas Azul e Verde das Sete-Cidades.

Com efeito, na Lagoa das Sete-Cidades têm sido observados, nos últimos anos, desenvolvimentos explosivos de cianobactérias que chegaram a atingir densidades populacionais de  $2,8 \times 10^9$  cel.L<sup>-1</sup>. Estas florescências têm sido dominadas sobretudo por *Microcystis aeruginosa*, uma cianobactéria não fixadora de azoto, com células de 5-6 µm de diâmetro, que possui uma extraordinária capacidade de adaptação ao meio através de mecanismos de assimilação/acumulação de fósforo e

controlo da flutuação. Este último atributo permite às suas células flutuar à superfície das massas de água, nas zonas mais iluminadas, formando densas espumas amarelas, ou submergir até camadas mais profundas em busca do fósforo libertado pelos sedimentos anóxicos durante os períodos de estratificação térmica estival (Whitton & Potts, 2000).

Além do desagradável impacto visual e olfactivo que a acumulação de espumas de *Microcystis* provoca, a ocorrência desta e de outras cianobactérias dos géneros *Anabaena* e *Oscillatoria* é preocupante uma vez que são conhecidas como produtoras de toxinas, sobretudo microcistinas. Apesar da água desta lagoa não ser captada para consumo humano, a sua utilização com fins recreativos, sobretudo se houver contacto directo, pode acarretar problemas para a saúde dos utentes.

### 3.3 Lagoa das Furnas

No Quadro IV são apresentados os valores médios, mínimos e máximos da transparência da massa de água (disco de Secchi), clorofila a, azoto inorgânico total e fósforo total, registados para a lagoa das Furnas nos períodos de monitorização considerados.

Quadro IV - Valores médios, mínimos e máximos de penetração da transparência da água (Disco de Secchi) e das concentrações de clorofila a, fósforo total e azoto inorgânico total registados na Lagoa das Furnas (S. Miguel – Açores) nos quatro períodos de monitorização considerados

	1988/1989 (UNL)			1992/1993 (UNL)			1995/1998 (UNL)			2000/2002 (UNL)		
	Média	Máx.	Min.	Média	Máx.	Min.	Média	Máx.	Min.	Média	Máx.	Min.
<b>Disco de Secchi (m)</b>	0,8	1,0	0,6	0,6	0,7	0,5	0,9	2,5	0,2	1,0	3,0	0,4
<b>Clorofila a (<math>\mu\text{g.L}^{-1}</math>)</b>	37,5	63,1	20,6	62,2	74,4	54,4	37,9	103,4	4,23	29,3	90,8	9,67
<b>Fósforo total (<math>\mu\text{g.L}^{-1}</math>)</b>	---	---	---	---	---	---	56	108	28	54	84	17
<b>Azoto inorgânico total (<math>\mu\text{g.L}^{-1}</math>)</b>	499	988	138	363	945	36	611	990	230	462	940	160

A transparência da massa de água desta lagoa foi sempre, em média, inferior a 3 m, conduzindo a valores do Índice de Estado Trófico (TSI), calculado segundo metodologia aconselhada por Carlson (1977), compreendidos entre 60 e 70, os quais conduzem a uma classificação da Lagoa das Furnas como eutrófica. Ocasionalmente a transparência atingiu valores ligeiramente mais elevados, indiciando uma aparente melhoria da qualidade da massa de água, mas essa situação revelou-se transitória.

No que respeita à concentração de clorofila a, depois de terem sido registados valores relativamente elevadas nas amostragens realizadas em 1988/89 e 1992/93, em 1995, quando foi retomado o programa de monitorização, obtiveram-se valores muito baixos para este parâmetro os quais, por terem sido registados na Primavera, fizeram acreditar numa evolução positiva do estado trófico da lagoa. No entanto, nas amostragens subsequentes a concentração de clorofila a voltou a aumentar, tendo sido registados os valores mais elevados em 1997, nas amostragens de Fevereiro e Abril, em resultado de grandes temporais que se abateram sobre a Ilha de S. Miguel e que provocaram um enorme arrastamento de caudal sólido e nutrientes para esta lagoa. Concentrações novamente mais baixas ocorreram no Outono de 1998, e um valor elevado voltou a ser registado em Maio de 2002, altura em que ocorreu um bloom de cianobactérias nesta lagoa (Figura 4). Os valores máximos deste parâmetro foram sempre característicos de meios eutróficos ( $25$  a  $75\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e hipertróficos ( $>75\mu\text{g.L}^{-1}$ ), segundo a classificação da OCDE.

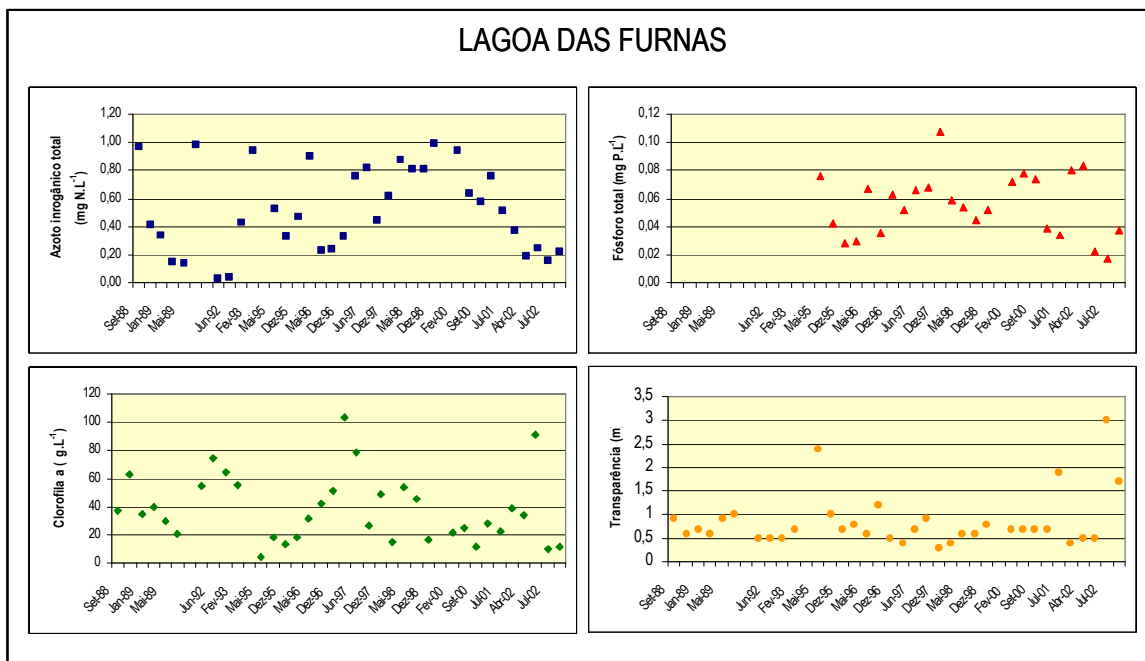


Figura 4 – Evolução temporal da transparência da massa de água e das concentrações de azoto inorgânico total, fósforo total e clorofila a na Lagoa das Furnas.

A concentração de fósforo total também sofreu algumas variações ao longo do tempo ( Figura 4). Não foram considerados para esta análise os dados referentes aos períodos de 1988/89 e 1992/93, por a metodologia de conservação e análise das amostras então utilizada não permitir uma fiabilidade adequada dos resultados. Alguns dos valores registados (4 determinações em 42) para este parâmetro, nomeadamente em 1995 e 1997, sendo superiores a  $100 \mu\text{gP.L}^{-1}$ , foram característicos de meios politróficos [Vollenweider (1968)] ou hipertróficos [OCDE (1982)]. Em média, este parâmetro apresentou concentrações normalmente encontradas em meios eu-politróficos ( $30 - 100 \mu\text{gP.L}^{-1}$ ), com apenas nove determinações em 42 com valores inferiores a  $30 \mu\text{gP.L}^{-1}$ .

O Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) relativo à clorofila a oscilou entre 55,6 e 58,3 classificando a Lagoa das Furnas como eutrófica. O TSI calculado com base em valores médios anuais de concentração de fósforo na coluna de água desta lagoa, apresentou também valores sempre superiores a 53, considerado como limite inferior para a situação de eutrofia. O intervalo de variação deste índice, para o período de 1995 a 2002, foi de 53,4 a 62,3. O valor mais elevado foi registado em 1997.

Em meios meso-eutróficos a concentração de azoto inorgânico total situa-se, segundo Vollenweider (1968), entre  $300$  e  $650 \mu\text{gN.L}^{-1}$ . Na Lagoa das Furnas, os valores médios desta forma de azoto oscilaram entre  $363$  e  $611 \mu\text{gN.L}^{-1}$ , o que mais uma vez vem demonstrar que a Lagoa das Furnas se encontra eutrofizada. Os valores mais elevados registados são mesmo característicos de meios eu-politróficos ( $500 - 1500 \mu\text{gN.L}^{-1}$ ).

O período que decorreu entre 1995 e 1998 é aquele para o qual existe maior número de dados (33 amostragens) pois coincidiu com a instalação e início de funcionamento do sistema de arejamento da lagoa. No entanto, não foi possível obter, a partir destes dados, uma informação conclusiva sobre a influência daquele sistema sobre a qualidade da massa de água, pois além de existir uma lacuna de conhecimento sobre o período que antecedeu a sua instalação (1993/94), no segundo ano de funcionamento do arejamento ocorreram temporais catastróficos em toda a Ilha de S. Miguel, que tiveram particular incidência sobre a zona da Furnas, e que provocaram o já citado arrastamento de material sólido para a lagoa. Desta forma, o efeito do arejamento sobre a imobilização da carga interna



associadas a condições de elevada turvação da massa de água que lhes proporciona as adequadas condições de ensombramento. Nas amostragens realizadas entre Dezembro de 1998 e Abril de 2002 o género *Microcystis* apresentou-se dominante, com excepção da colheita de Dezembro de 2000, em que predominou *Aphanizomenon flos-aquae*, e Julho de 2001 em que o género predominante foi *Merismopedia*., sobre o qual não está documentada a possível produção de toxinas. O “bloom” de cianobactérias de Maio de 2002, tendo sido provocado predominantemente por espécies do género *Anabaena*, não conduziu à formação das espumas densas e amareladas à superfície, como as que se observaram na Lagoa das Sete-Cidades onde predominaram espécies do género *Microcystis*, e particularmente a espécie *Microcystis aeruginosa*.

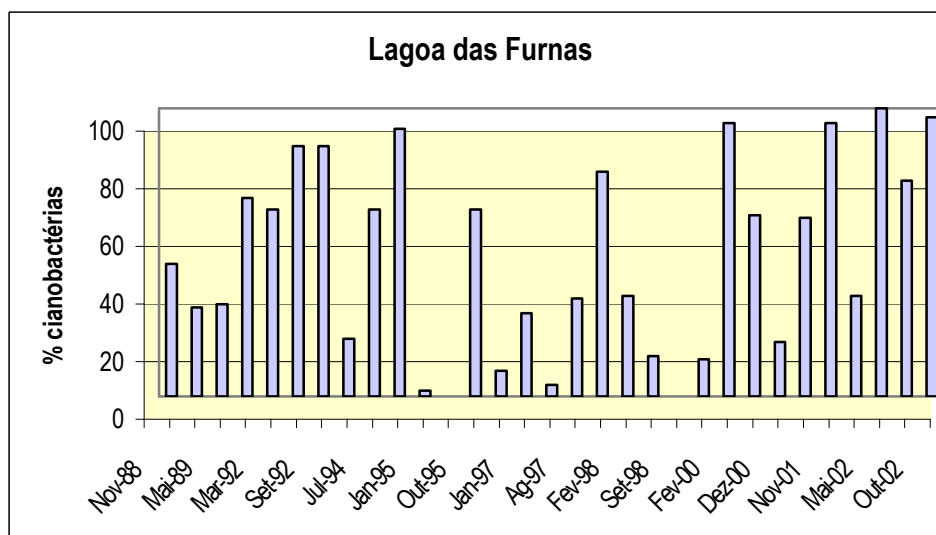


Figura 6 – Variação temporal da percentagem de cianobactérias na população fitoplancónica da Lagoa das Furnas.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicam que:

- As cargas nutritivas que podem estar a atingir a Lagoa das Sete-Cidades, correspondendo a 24,6 g N/m<sup>2</sup>.ano e 2,96 g P/m<sup>2</sup>.ano, são 10 e 18 vezes superiores às cargas máximas admissíveis de azoto e fósforo e 5 e 9 vezes superiores às cargas de perigo para a lagoa dos mesmos nutrientes. As estimativas das cargas nutritivas afluentes à lagoa foram efectuadas com base em determinações realizadas num número muito limitado de amostras, pelo que seria de toda a conveniência dispor de um número mais significativo de dados de campo, para que os resultados se aproximassem o mais possível da realidade;
- As cargas nutritivas que afluem à Lagoa das Furnas através das linhas de água podem ser estimadas em 16 g N/m<sup>2</sup>.ano e 0,8 g P/m<sup>2</sup>.ano, sendo 11 e 8 vezes superiores às cargas máximas admissíveis de azoto e fósforo para esta lagoa e 5 e 4 vezes superiores às cargas de perigo dos mesmos nutrientes. Por outro lado, estimativas efectuadas com base em dados de lixiviação de nutrientes recolhidos na bibliografia da especialidade, podendo por isso não ser directamente extrapoláveis para as condições de solo, relevo e clima da Ilha de S. Miguel, conduziram a valores que indicam que as escorrências difusas podem atingir valores muito importantes nesta bacia hidrográfica, o que torna ainda mais preocupante a situação desta lagoa;

- O Índice de Estado Trófico (TSI) na Lagoa Azul oscilou, de 1988 a 2002, entre 30 (oligotrofia) e 60 (eutrofia), com maior preponderância de valores situados na gama da mesotrofia (40-50). A Lagoa Verde, durante o mesmo período, registou maior tendência para valores de TSI de meso-eutrofia (50-60). Os resultados da monitorização do estado de qualidade da água através de parâmetros físico-químicos não permitem concluir que tenha havido um agravamento do estado trófico da Lagoa das Sete-Cidades entre 1988 e 2002, mas também não revelam uma melhoria. A situação tem-se mantido num estado de mesotrofia com oscilações maiores no sentido da eutrofia que da oligotrofia. Apesar de não terem sido detectadas concentrações muito elevadas de nutrientes na massa de água a densidade populacional do fitoplâncton tem vindo a aumentar, ao longo do tempo, nas duas sub-unidades que compõem a Lagoa das Sete-Cidades. Além disso, tem vindo a verificar-se também o aumento da preponderância da população de cianobactérias sobre os restantes grupos fitoplanctónicos ao longo da maior parte do ano, o que suscita preocupações ainda maiores devido à possível presença de cianotoxinas. O aumento das concentrações de azoto inorgânico assimilável são preocupantes e podem estar na origem dos recentes desenvolvimentos explosivos de cianobactérias, pois o género *Microcystis*, o responsável pelas últimas florescências, não está normalmente associado a situações de limitação transitória de azoto;
- O Índice de Estado Trófico (TSI) na Lagoa das Furnas oscilou, de 1988 a 2002, entre 40 (mesotrofia) e 70 (eutrofia), com maior preponderância de valores situados na gama da eutrofia (50-70). Com base nos resultados aqui apresentados não se pode afirmar que o estado trófico da Lagoa das Furnas tenha sofrido uma alteração significativa neste período. Com efeito, ocorreram períodos em que a qualidade da água revelou uma certa melhoria, logo seguidos de outros em que se notou um agravamento substancial, geralmente na sequência de fortes precipitações atmosféricas. O aumento das concentrações de nutrientes na massa de água conduziu com frequência a elevadas densidades populacionais de fitoplâncton, no entanto não se registou uma tendência nítida para o seu aumento ao longo do tempo, antes se registaram flutuações significativas, com períodos em que a densidade algal, e, particularmente, a densidade de cianobactérias assumiram valores menos elevados. O “bloom” de cianobactérias, dos géneros *Anabaena* e *Microcystis*, ocorrido em 2002 na Lagoa das Furnas, atingiu um nível preocupante pois a densidade destes microrganismos ultrapassou o Nível de Alerta considerado pela OMS como de risco para a saúde de humanos e animais que contactassem com a água, sobretudo por se tratar de organismos produtores de toxinas.

A probabilidade de os “blooms” de cianobactérias nestas lagoas se tornarem recorrentes é elevada, sobretudo enquanto não começarem a surtir efeito medidas para limitação da carga nutritiva afluente. Estas medidas estão previstas nos planos de ordenamento das respectivas bacias hidrográficas, em elaboração, e que se espera venham a sofrer aprovação e implementação num futuro próximo.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Anon. 1982. *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, p. 361-369
- Chorus, I. & Bartram J.(Eds.) 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water*, E & FN Spon /WHO, London and New York, 416 pp.
- Cooke, G.D.; Welch, E.B.; Peterson, S.A. and Newroth, P.R. 1993 *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, 2ª Ed., Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, U.S.A., 548 pp
- Harper, D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters*, Chapman & Hall, London, 327 pp.

- INOVA, 1998. *Análise das Águas da Região Autónoma dos Açores*, Relatório, Ponta Delgada, Açores.
- Mandaville, S.M. 2000. *Limnology – Eutrophication and Chemistry*, Soil & Water Society of Metro Halifax, Synopses 1,2,3,13,and 14, 210 pp.
- Porteiro, J.; Calado, H. *et al.* 1998. *Plano de Ordenamento da Bacia Hidrográfica da Lagoa das Sete-Cidades, 1ª Fase, Estudos de Caracterização*, Vol II, Universidade dos Açores, Departamento de Biologia, Secção de Geografia, Ponta Delgada, Açores.
- Porteiro, J.; Calado, H. *et al.* 1998. *Plano de Ordenamento da Bacia Hidrográfica da Lagoa das Furnas, 1ª Fase, Estudos de Caracterização*, Vol II, Universidade dos Açores, Departamento de Biologia, Secção de Geografia, Ponta Delgada, Açores.
- Santos, M.C.R.; Rodrigues, A.M.F.; Santana, F.; Sobral, P. 1991. *O Controlo da Eutrofização nas Lagoas de S. Miguel – Açores, Parte II – A Lagoa das Furnas*, Relatório, DCEA/FCT/UNL, Lisboa, 83 pp.
- Santos, M.C.R.; Rodrigues, A.M.F.; Santana, F. 2001. *Toxicidade de Cianobactérias nas Lagoas das Furnas e Sete-Cidades (Ilha de S. Miguel – Açores)*, Relatório, DCEA/FCT/UNL, Lisboa, 59 pp.
- Santos, M.C.R. & Santana, F. 2002. *Toxicidade de Cianobactérias nas Lagoas das Furnas e Sete-Cidades (Ilha de S. Miguel – Açores). 1. O Caso da Lagoa das Sete-Cidades*, Relatório, DCEA/FCT/UNL, Lisboa, 53 pp.
- Santos, M.C.R. & Santana, F. 2003. *Toxicidade de Cianobactérias nas Lagoas das Furnas e Sete-Cidades (Ilha de S. Miguel – Açores). 1. O Caso da Lagoa das Furnas*, Relatório, DCEA/FCT/UNL, Lisboa, 25 pp.
- Whitton, B.A. & Potts M. [Eds.] 2000. *The Ecology of Cyanobacteria. Their diversity in Time and Space*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 669 pp.
- Vollenweider, R.A. 1968. *Water Management Research; Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters*, Technical Report DAS/CSI/68.27, OCDE, Paris.