

## QUALIDADE DA ÁGUA DAS LAGOAS DE S.MIGUEL

Parte I - Características físico-químicas e microbiológicas

Santos, M.C.R. ; Rodrigues, A.M.F. ; Santana, F.J.P.; Sobral, P.\*

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 - O conceito de eutrofização

A qualidade das massas de água, sobretudo as interiores e lacustres, pode ser significativamente afectada pela presença excessiva de nutrientes, os quais conduzem a um aumento da produtividade primária (algas e plantas superiores) no interior das mesmas. Com efeito, águas límpidas e pouco produtivas, quando enriquecidas com nutrientes facilmente assimiláveis por algas e plantas macrófitas, podem transformar-se rapidamente, em águas turvas e fétidas, com níveis de Oxigénio dissolvido muito variáveis. O enriquecimento em nutrientes, além de provocar o crescimento excessivo daqueles seres vivos, traduz-se também, frequentemente, num empobrecimento da diversidade de espécies presentes no sistema aquático e num aumento populacional de apenas algumas delas.

Os nutrientes Azoto e Fósforo têm sido considerados, em zonas temperadas, os principais responsáveis por perturbações do ambiente aquático do tipo atrás referido (Schindler, 1974 ; Fee, 1974). O Fósforo, em zonas onde a rocha mãe não é rica em fosfatos, atinge as massas de água sobretudo através da descarga de águas residuais domésticas e/ou industriais, ou é proveniente de excreções de aves visitantes ou animais domésticos. O Azoto, que é utilizado em grandes quantidades na fertilização de culturas agrícolas e forrageiras, sob a forma de sais muito solúveis (Nitratos e Amoniacais) é facilmente arrastado pelas águas das chuvas. As águas residuais, sobretudo as de origem doméstica, e os excrementos de animais contêm também quantidades apreciáveis de compostos de Azoto.

Tem sido também estudada a influência que outros macronutrientes como o Carbono e o Silício, ou, com menor importância, o Cálcio, o Potássio, o Magnésio e o Sódio, e micronutrientes como o Ferro, o Manganésio, o Molibdénio, o Cobre, o Cobalto e o Zinco, podem ter no desenvolvimento de espécies características de águas enriquecidas (King, 1970; Allen, 1972;

\* Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, F.C.T./U.N.L., Quinta da Torre, 2825 Monte de Caparica

Schelske e Stoermer, 1971; Wetzel, 1983). Em alguns casos particulares o seu efeito pode ser notório, mas assumem sempre uma posição secundária na fertilização das águas, quando comparados com os nutrientes Azoto e Fósforo.

O processo pelo qual as massas de água se tornam enriquecidas, e, portanto, mais produtivas, é chamado "EUTROFIZAÇÃO".

O conceito de Eutrofização, aplicado a ambientes lacustres, surgiu, pela primeira vez, em 1925, quando Thienemann referiu a existência de dois tipos extremos de lagos, ou lagoas naturais :

- lagos oligotróficos : profundos, pobres em nutrientes, com baixa actividade biológica, e ricos em Oxigénio dissolvido, o qual se distribui de forma homogênea ao longo da camada de água, permitindo a existência de espécies aeróbias nas zonas mais profundas (hipolimnion e bentos). A qualidade da água é excelente nestes casos:

- lagos eutróficos : pouco profundos, ricos em nutrientes, com uma actividade biológica excessiva, e uma distribuição heterogênea da concentração em Oxigénio dissolvido. Geralmente a qualidade da água está, nestes casos, significativamente degradada.

Entre a situação de oligotrofia e a de eutrofia, situa-se a de mesotrofia. Assim, lagos mesotróficos são aqueles que possuem uma massa de água de produtividade média e alguma actividade biológica. Trata-se de sistemas equilibrados, e que apresentam ainda uma boa qualidade da água.

Em 1969, Hutchinson estabeleceu definitivamente os conceitos de oligo e eutrofia, alargando-os a sistemas que incluíam não só a massa de água lacustre, mas também a bacia de drenagem e os sedimentos. Um sistema eutrófico passou então a ser todo aquele em que a concentração de nutrientes é potencialmente elevada, embora a sua concentração na massa de água, num determinado instante, possa ser baixa (Cunha Cardoso, 1985). Desta forma, passou a ser atribuída particular importância a todos os factores externos susceptíveis de modificar o potencial trófico de uma massa de água, com especial relevo para as entradas de materiais provenientes da bacia de drenagem.

O desenvolvimento social e agro-industrial nas zonas envolventes de lagos naturais, pode acelerar grandemente o processo de eutrofização. A desflorestação, a subsequente utilização das terras desflorestadas para fins agrícolas e agro-pecuários, e o consumo crescente de fertilizantes na agricultura, são factores que têm proporcionado um aumento do arrastamento de nutrientes pelas águas de drenagem. Também a instalação de aglomerados urbanos, através da modificação

das bacias de drenagem, o que favorece o escoamento superficial e a erosão, e da rejeição de águas residuais domésticas e/ou industriais, contribuem para um incremento substancial das cargas orgânica e inorgânica afluentes à massa de água.

Na realidade, a utilização dada às terras pertencentes a bacias de drenagem é da maior importância para o enriquecimento das massas de água naturais. As terras utilizadas em pastagens, em que os animais permanecem no prado, poderão contribuir com maior quantidade de nutrientes que os terrenos cultivados, e estes mais que os terrenos florestados. A título de exemplo refira-se que, em estudos comparativos realizados (Moss, 1988) se chegou à conclusão que uma única vaca pode contribuir, por ano, com 18 Kg de Fósforo, tanto como 57 ha de cultura cerealífera ou 212 ha de floresta, e 58 Kg de Azoto, o mesmo que 6 ha de cereais ou 67 ha de floresta.

## 1.2 - As lagoas de S. Miguel e a eutrofização

A eutrofização natural das lagoas da ilha de S. Miguel poderá existir e ser um processo inegavelmente favorecido pelas características geomorfológicas das bacias de drenagem e pelo clima da região, muito pluvioso. No entanto este processo seria, sem dúvida, muito lento e imperceptível à escala humana, se não houvesse a considerar uma componente antropogénica com significado crescente.

A existência de um aglomerado populacional nas margens da lagoa das Sete-Cidades, bem como o desenvolvimento de zonas sem coberto vegetal, utilizadas como pastagens permanentes de gado bovino, em terrenos pertencentes às bacias de drenagem das sete-Cidades e Furnas, contribuíram, certamente, para a degradação da qualidade da água daquelas lagoas. Nesta última lagoa, a das Furnas, a descarga das águas das caldeiras, que embora provenientes de um processo natural de origem vulcânica, são fortemente concentradas em sais minerais diversos, poderá ter contribuído para um enriquecimento das suas águas em macro e micronutrientes.

Aos factores mencionados há que adicionar ainda a carga de matéria orgânica que é depositada directamente no interior das lagoas, ou nas suas margens mais próximas, pelos animais que a elas são encaminhados para beber água.

Estamos, pois, perante o risco de um processo eutrofizacional acelerado, que é já bem patente na lagoa das Furnas, menos profunda e portanto mais sensível, mas que ameaça também a lagoa das Sete-Cidades.

Apenas a lagoa do Fogo parece estar ainda ao abrigo destes perigos por se encontrar em zona de

paisagem protegida (reserva natural criada pelo Dec. n.º 152/74 e confirmada pelo Dec. Regional n.º 10/82/A. de 18 de Junho). No entanto, o pastoreio de caprinos nas vertentes circundantes, o facto de esta lagoa se encontrar suprajacente a terrenos muito porosos, e as próprias garças que ali habitam, podem constituir factores de risco para a manutenção da qualidade das águas.

## **2 . AS LAGOAS DE S. MIGUEL**

### **2.1 - Lagoa das Sete-Cidades**

A lagoa das Sete-Cidades situa-se na região Noroeste da ilha de S. Miguel - AÇORES, no maciço vulcânico do mesmo nome, encontrando-se a superfície livre da água a uma altitude aproximada de 251 m. As paredes internas da Caldeira das Sete-Cidades sobranceiras à lagoa, são constituídas a N-NE e a S-SE por escarpas abruptas cobertas por vegetação arbórea perene, e nas restantes zonas envolventes, onde o relevo é mais atenuado, o solo encontra-se coberto por prados permanentes utilizados como pastagens para gado bovino leiteiro. Nas margens W-SW da lagoa, zona onde se encontra implantada a localidade das Sete-Cidades, pratica-se uma agricultura de pequena escala destinada à produção de produtos hortícolas e frutícolas. As habitações não dispõem ainda de rede de saneamento básico, embora esteja em vias de implantação. O saneamento das habitações é realizado por meio de fossas sépticas. Não existe ocupação industrial do solo na região.

Não existe descarga de águas residuais de explorações agro-pecuárias, mas os animais têm acesso directo à lagoa. Deve salientar-se ainda que todos os materiais orgânicos produzidos pela actividade pecuária, e os inorgânicos (adubos e pesticidas) utilizados na agricultura, no perímetro da bacia hidrográfica poderão atingir a massa de água lacustre por solubilização e arrastamento pelas águas pluviais.

A água da lagoa não é utilizada como fonte de abastecimento de água potável mas tem sido utilizada pontualmente para rega de culturas hortícolas. No interior da lagoa não são permitidos os desportos náuticos com veículos motorizados, mas outras actividades lúdicas como a pesca, os banhos e o campismo tem sido praticadas junto às suas margens.

A massa de água lacustre ocupa uma área total aproximada de 4,5 Km<sup>2</sup>, com um perímetro de 12 Km, e é composta por duas lagoas que comunicam por uma estreita língua de água, a lagoa Azul e a lagoa Verde, com áreas aproximadas de 3,619 Km<sup>2</sup> e 0,858 Km<sup>2</sup>, respectivamente. A profundidade máxima encontrada nestas lagoas foi de 24,5 m na lagoa Azul e 20 m na lagoa

Verde. Foi ainda possível constatar que, com excepção das zonas mais próximas das margens e da zona de confluência das duas lagoas, a profundidade média das lagoas varia entre 10 e 20 m.

A bacia hidrográfica desta lagoa tem um perímetro aproximado de 16 Km e ocupa uma área de cerca de 18 km<sup>2</sup>. As principais linhas de água afluentes são quatro, todas elas de caudal mais ou menos temporário. A que apresenta caudal mais significativo ao longo do ano, e por vezes com carácter permanente, é a que anteriormente atravessava a localidade das Sete-Cidades, e que há alguns anos foi desviada do centro do aglomerado populacional através da construção de um canal trapezoidal que vai desaguar alguns metros mais a Norte do anterior ponto de confluência. Esta linha poderá transportar cerca de 1/3 do caudal total referente à bacia hidrográfica, recebendo as escorrências da maior zona de prática agrícola e de pastagens da bacia, bem como as escorrências urbanas da localidade e algumas águas residuais de habitações que não possuem fossas sépticas, e que são canalizadas a céu aberto até sofrerem infiltração.

Das três linhas de água restantes, a maior, chamada Grota do Inferno, desagua a NE da lagoa Azul e recebe também escorrências de zonas de pastagem. Junto ao tunel de descarga da lagoa Azul (margem NW), e na margem leste da lagoa Verde, junto à zona de união das duas lagoas, desaguam as outras duas linhas de água, de muito pequena dimensão, e que são responsáveis sobretudo pelo arrastamento torrencial de detritos sólidos.

## 2.2 - Lagoa das Furnas

A lagoa das Furnas situa-se na região Sudeste da ilha de S. Miguel - Açores, encontrando-se a superfície livre da água a uma altitude aproximada de 280 m.

A zona Oeste da lagoa apresenta um relevo acentuado constituído por escarpas abruptas cobertas de vegetação arbórea perene. Na zona Este a encosta possui um relevo menos acidentado, e junto à margem existe uma estrada que borda a lagoa. A margem sul, no local de maior predominância de formações sedimentares, foi aproveitada para o estabelecimento de um viveiro de árvores e de um parque de campismo com cerca de 1 ha, o que permitiu racionalizar a ocupação turística desta zona e interditar o campismo selvagem. Na região Norte da lagoa podem encontrar-se caldeiras de água quente e nascentes de água mineral.

Nas margens da lagoa existem cerca de duas dezenas de casas de habitação temporária, as quais são abastecidas por água canalizada de rede privada proveniente de ressurgências localizadas a uma cota superior ao nível da lagoa. O saneamento destas habitações é feito através de poço absorvente, pelo que não afluem directamente à lagoa quaisquer águas residuais.

No interior da lagoa não são permitidos os desportos náuticos motorizados mas a pesca é autorizada. A água da lagoa não tem utilização directa para rega, no entanto, o canal efluente da lagoa vai confluír, já a alguma distância desta, no sítio da Água Quente, com a Ribeira Amarela, cuja água é utilizada para a inundação dos lameiros onde se cultivam inhames.

A massa de água lacustre ocupa uma área total aproximada de 1.9 - 2 Km<sup>2</sup>, com um perímetro de 5.5 Km. A sua largura máxima é de 1.35 Km e o seu máximo comprimento de 2 Km. A profundidade máxima detectada foi de 12 metros.

A bacia hidrográfica da lagoa tem um perímetro aproximado de 14 Km e ocupa uma área de cerca de 13 Km<sup>2</sup>. As linhas de água afluentes à lagoa são cinco : Salto da Inglesa, Ribeira do Rosário, Salto do Albano, Salto do Risco e Salto do Alemão. As duas primeiras são as que debitam caudais mais importantes e com carácter permanente, recebendo as águas de zonas da bacia hidrográfica, como a zona do Castelo Branco e a Achada das Furnas, com grande intensidade de ocupação agro-pecuária. Os três cursos de água restantes são mais pequenos, possuem carácter temporário, e transportam caudais de zonas arborizadas.

### 2.3 - Lagoa do Fogo

A lagoa do Fogo situa-se na região centro-sul da ilha de S. Miguel - Açores. A superfície livre da água da lagoa encontra-se a uma altitude aproximada de 610m.

As vertentes internas da cratera cujo centro é ocupado pela lagoa do Fogo, são constituídas a Oeste e a Sul por escarpas abruptas cobertas de vegetação arbustiva. Nas vertentes Este e Norte o declive é menos acentuado assinalando-se aí manchas densas de vegetação arbórea. Na margem Norte da lagoa, entre a vertente da cratera e a massa de água, assinala-se uma zona de deposição de detritos sedimentares, com raras ou nenhuma manchas de coberto vegetal.

A lagoa do Fogo encontra-se inserida na Reserva Natural do mesmo nome, criada pelo Decreto nº 152/84, de 15 de Abril, ao abrigo da Lei nº 9/79. Por este motivo, são proibidas nas zonas envolventes à lagoa actividades como a caça, o campismo, movimentos de terras ou alterações do relevo e do coberto vegetal, a introdução de animais ou plantas exóticos, ou quaisquer outras actividades que perturbem o equilíbrio natural da Reserva. No interior da lagoa é proibida a navegação a motor, mas a pesca é autorizada.

A partir da entrada em vigor do decreto acima mencionado, a recolha de leivas nas encostas sobranceiras à lagoa, destinadas às estufas da cultura de ananazeiros, deixou de se efectuar. No

entanto, verifica-se que a actividade pastorícia se mantém, observando-se com muita frequência rebanhos de cabras que pastam mesmo nas zonas de maior declive. Dadas as características do relevo, é inevitável o arrastamento dos excrementos produzidos por estes animais, e pelas garças que nidificam nas escarpas, para a massa de água, através de escorrimentos torrenciais após precipitação atmosférica. Além destes detritos, e de resíduos florestais naturais, aparentemente não entram na lagoa outros materiais orgânicos.

A água da lagoa não tem qualquer utilização directa, no entanto as ressurgências que a partir dela se formam em cotas inferiores são, ou poderão vir a ser, utilizadas para abastecimento de água às populações, ou com fins agrícolas ou agro-pecuários.

A lagoa do Fogo ocupa uma área aproximada de 1,5 Km<sup>2</sup>, com um perímetro de 5,5 Km. O seu comprimento máximo atinge 2,4 Km e a sua máxima largura 1,2 Km, sendo de aproximadamente 30 metros a sua profundidade máxima.

A bacia hidrográfica desta lagoa ocupa uma área aproximada de 5 Km<sup>2</sup>, com um perímetro de 9,5 Km. As vertentes envolventes possuem um declive acentuado pelo que a maior parte da precipitação caída no interior da bacia hidrográfica, e que não sofra infiltração, atingirá sem dificuldade a massa de água.

As linhas de água afluentes à lagoa, e com carácter permanente, são duas, uma que corre pela vertente Oeste, do lado da Barrosa, zona utilizada em pastorícia, e outra que provém da região S-SE e que se infiltra na praia de margem antes de atingir a massa de água. Outras linhas de água poderão existir, mas possuem carácter temporário e são do tipo torrencial. A água da lagoa, conforme já foi referido, alimenta alguns aquíferos existentes a cota inferior, nas vertentes externas da Serra de Agua de Pau, e que abastecem de água potável os habitantes da região sul.

### **3. AMOSTRAGEM**

Em cada lagoa foi definido um ponto de amostragem principal, localizado sensivelmente ao centro, e coincidindo com a zona de maior profundidade, e três pontos colaterais, distribuídos de forma a abranger zonas distintas. Para a lagoa do Fogo não foram definidos pontos colaterais por não apresentar ainda indícios de eutrofização, e ser então suficiente um único ponto central para o diagnóstico da situação. Nas lagoas Azul e Furnas foram ainda seleccionados pontos de margem e pontos de recolha de escorrências, no sentido de tentar quantificar a afluência de nutrientes provenientes de actividades agrícolas, agropecuárias e outras, que se desenvolvem em zonas limitrofes abrangidas pelas bacias de drenagem.

Além da amostragem de águas e material biológico procedeu-se à recolha de uma amostra de sedimentos de cada lagoa, nos pontos principais de amostragem.

A amostragem decorreu no período compreendido entre Setembro de 1988 e Julho de 1989, com uma periodicidade mensal, embora com características diferentes em cada mês. Nos meses de Setembro, Novembro, Janeiro, Março, Maio e Julho foram efectuadas colheitas a várias profundidades em todos os pontos centrais e colaterais. Destas, as colheitas de Novembro, Janeiro, Maio e Julho foram consideradas representativas das estações do ano. Na lagoa do Fogo, a colheita de Janeiro limitou-se à água de superfície por as condições climáticas não terem permitido a recolha de amostras às várias profundidades. Nos meses intercalares de Outubro, Dezembro, Fevereiro, Abril e Junho foram colhidas apenas amostras da superfície em todos os pontos.

A colheita de amostras de água às várias profundidades foi realizada com auxílio de uma garrafa de colheitas do tipo Van Dorn, a partir de um bote a remos colocado nos locais de amostragem previamente definidos. As amostras de água destinadas a análise físico-química foram acondicionadas em frascos de polietileno (vidro para a determinação de Pesticidas e Fósforo), sujeitas a conservação química quando necessário, e refrigeradas ou congeladas. As amostras para análise microbiológica foram recolhidas em frascos de vidro esterilizados, e refrigeradas.

A recolha de amostras de material biológico, fitoplancton e zooplancton, para análise qualitativa no primeiro caso e qualitativa e quantitativa no segundo, foi efectuada com auxílio de redes de malha igual a, respectivamente, 10  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , por arrasto desde cerca de um metro a partir do fundo até à superfície. As amostras para análise quantitativa de fitoplancton foram recolhidas a partir da coluna de água. Estas amostras foram transferidas para frascos de polietileno, conservadas e refrigeradas.

A colheita de sedimentos foi realizada com auxílio de uma draga Birger. Os sedimentos foram acondicionados em sacos de plástico preto e congelados.

O transporte das amostras dos Açores para Lisboa foi feito por via aérea, em caixas isotérmicas refrigeradas. O tempo que mediu entre a colheita e a chegada das amostras ao laboratório foi de, aproximadamente, dois dias para as amostras refrigeradas não conservadas, e de dois a cinco dias para as amostras conservadas e congeladas.



#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os parâmetros analisados em amostras de água foram os seguintes:

- Análise físico-química (determinações realizadas localmente): profundidade de penetração da luz, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, acidez, alcalinidade e condutividade;
- Análise físico-química (determinações realizadas no laboratório): cor, turvação, cloretos, sulfatos, sódio, potássio, cálcio, magnésio e ferro, azoto total, azoto amoniacal, nitritos, nitratos, ortofosfatos, fósforo total, sílica, carência química em oxigênio (C.Q.O.), carência bioquímica em oxigênio, ao quinto dia (C.B.O.5), metais pesados, policlorobifenilos e pesticidas organoclorados.
- Análise microbiológica: coliformes totais e fecais, estreptococos totais e fecais, microrganismos heterotróficos totais (a 20°C e a 37°C), pseudomonas, clostrídios sulfito-redutores, Salmonelas e Shigellas, protozoários
- Análise de fitoplâncton: clorofila *a* e feopigmentos, biovolume, densidade populacional
- Análise de zooplâncton: biomassa, densidade populacional

Em sedimentos e águas de escorrência apenas foram realizadas análises físico-químicas.

Os métodos utilizados na análise foram os preconizados pelo "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 16<sup>th</sup>, Edition, 1985.

#### 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO MEIO AQUÁTICO E SUA INFLUÊNCIA NO ESTADO TRÓFICO

##### 5.1 - Lagoa das Sete-Cidades

Os valores obtidos para a profundidade de penetração do disco de Secchi, variando entre 1,7 m e 4,8 m na lagoa Azul, e 1,5 m e 4,0 m na lagoa Verde, indicam haver já uma diminuição da transparência da massa de água.

A determinação da temperatura da água permitiu verificar ter havido uma constância nos seus valores, ao longo da coluna de água, durante a maior parte do ano, começando a esboçar-se um início de termoclina no mês de Maio, com a temperatura a descer gradualmente em profundidade. Nos meses de Setembro e Julho observou-se a existência de estratificação térmica, com uma diferença de temperatura entre a superfície e as camadas mais profundas de cerca de 7°C. A existência desta estratificação térmica levou ao estabelecimento, em profundidade, de

condições próximas da anóxia durante os mesmos meses.

Com efeito, a concentração de Oxigénio dissolvido, que apresentou sempre valores próximos da saturação, em Setembro e Julho atingiu valores muito próximos de zero, aos 24,5 m na lagoa Azul, e aos 20 m na lagoa Verde (respectivamente 0,4 mg/l e 0,6mg/l na lagoa Azul e 0,3 mg/l e 0,5 mg/l na lagoa Verde). A ocorrência à superfície, particularmente na lagoa Verde, de concentrações anormalmente elevadas de alguns parâmetros, apontam para a ocorrência de fenómenos de inversão de camadas entre situações de estratificação térmica.

Como se pode observar no Quadro I, a concentração média de Azoto, na lagoa Azul, foi mais elevada no ponto situado na zona da lagoa mais próxima da confluência com a lagoa Verde, e em frente da povoação das Sete-Cidades. Este facto poderá traduzir a influência da existência da povoação e também da principal escorrência que é canalizada pela vala que desagua junto a ela. Junto a esta, embora a concentração de Azoto não seja das mais elevadas, a concentração de Fósforo atingiu o seu nível mais alto, certamente devido às escorrências e ao uso de detergentes pela população que utiliza a água da lagoa para a lavagem da roupa. Foi também aqui que a concentração de matéria orgânica se apresentou mais elevada, logo seguido do ponto situado no lado oposto da lagoa, junto a locais onde é frequente observarem-se manadas de gado bovino que aí se deslocam para beber, deixando no terreno grandes quantidades de excrementos.

Quadro I - Concentrações médias de diversos parâmetros observadas em diferentes pontos de amostragem das lagoas Azul e Verde.

	Lagoa Azul					L. Verde	
	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2
Azoto Kj. (mg N/l)	2.14	3.22	2.37	1.43	1.86	2.66	2.08
Azoto amoni. (mg N/l)	0.256	0.168	0.168	0.295	0.234	0.274	0.138
Azoto oxidado (mg N/l)	0.046	0.039	0.042	0.039	0.07	0.040	0.046
Fósforo total (mg P/l)	0.37	0.37	0.49	0.47	0.64	0.40	0.55
Ortofosfatos (mg P/l)	0.13	0.15	0.13	0.14	0.14	0.29	0.33
C.Q.O. (mg O2/l)	3.7	3.6	4.1	3.7	4.9	4.8	4.6
C.B.O.5 (mg O2/l)	1.2	1.3	1.1	1.1	1.9	1.3	1.5
Sódio (mg/l)	22.1	21.9	21.5	21.7	21.5	27.8	26.7
Potássio (mg/l)	4.56	4.43	4.58	4.49	5.23	3.44	3.20
Cálcio (mg/l)	2.28	2.10	2.28	2.32	2.20	2.13	2.34
Magnésio (mg/l)	1.74	1.66	1.71	1.73	1.66	1.23	1.26
Ferro (mg/l)	0.167	0.118	0.114	0.223	0.145	0.128	0.088
Silica (mg/l)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	1.9	2.2

Na lagoa Verde, a concentração média de Azoto foi mais elevada no ponto central, mas a concentração de Fósforo atingiu valores superiores no ponto que se situa junto à confluência das duas lagoas, e que recebe maiores influências antropogénicas. A concentração de matéria orgânica não apresentou diferenças significativas. Em relação aos restantes parâmetros, a variação no interior da lagoa praticamente não se fez sentir.

Destes resultados se poderá inferir, que embora a entrada de nutrientes nas lagoas se processe em determinados pontos da mesma, nomeadamente junto à povoação e na margem leste a sua disseminação por toda a massa de água é rápida. Aparentemente dá-se mesmo uma difusão preferencial em direcção à lagoa Verde, a qual, aparentemente, não recebe descargas directas de nutrientes, as quais se fazem na lagoa Azul, mas apresenta níveis tanto ou mais elevados que esta última. Deve-se, contudo, referir também, que a forma geométrica desta lagoa, de pequeno diâmetro e grande profundidade, facilita a acumulação de detritos no fundo, os quais vão sofrendo degradação progressiva e libertando nutrientes que com os sucessivos movimentos da massa de água se vão distribuindo por toda a coluna líquida.

A análise de sedimentos e águas intersticiais (Quadro II) permitiu concluir que, tanto a concentração de nutrientes como a de metais nos sedimentos é muito elevada. Deste últimos salientam-se o Ferro, o Magnésio, o Sódio e o Potássio. Comparativamente, a sua concentração nas águas intersticiais não foi muito elevada, o que é compreensível, uma vez que muitos deles, e particularmente o Ferro e o Magnésio formam facilmente compostos insolúveis, apenas sendo solubilizados em condições propícias do meio. A acumulação destes elementos pode ser uma consequência das características do solo e subsolo locais.

Quadro II - Resultados médios obtidos para diversos parâmetros em amostras de água das lagoas, nos sedimentos e nas águas intersticiais.

	Lagoa Azul	Lagoa Verde	Ag. interst.		Sedimentos	
			Azul	Verde	Azul	Verde
Azoto kj. (mgN/l)	2.29	2.37	7.8	17.9	5896	9408
Azoto am. (mgN/l)	0.222	0.206	3.46	10.41	54.6	60.6
Azoto ox. (mgN/l)	0.042	0.043	0.18	0.303	43.4	35.2
Fósforo t. (mgP/l)	0.42	0.48	0.51	0.77	1887	1510
Ortofosf. (mgP/l)	0.14	0.31	--	--	377	581
C.Q.O. (mg O <sub>2</sub> /l)	3.8	4.7	--	--	--	--
C.B.O <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	1.2	1.4	--	--	--	--
Sódio (mg/l)	21.8	27.2	24.4	37.5	3302	2091
Potássio (mg/l)	4.77	3.32	1.8	5.5	2830	10801
Cálcio (mg/l)	2.27	2.24	3.2	4.8	189	163
Magnésio (mg/l)	1.71	1.24	0.96	1.67	1934	1010
Ferro (mg/l)	0.156	0.108	0.59	0.1	19969	5923
Silica (mg/l)	0.2	2.1	4.1	4.4	189	151

Ao comparar os resultados obtidos para os nutrientes no sedimento da lagoa Azul, com os que se obtiveram no da lagoa Verde, verifica-se que a quantidade de Azoto era muito superior no segundo, enquanto que a de Fósforo foi superior no primeiro. Em qualquer dos casos, são valores que traduzem concentrações muito elevadas, sobretudo de matéria orgânica azotada, a qual ao sofrer degradação vai libertar as formas inorgânicas de Azoto, facilmente solubilizáveis e assimiláveis pelo fitoplancton.

## 5.2 - Lagoa das Fumas

A profundidade da zona eufótica atingiu nesta lagoa, e em todos os pontos de amostragem, valores que oscilaram entre 1.6 e 3.2 metros, os quais são característicos de meios fortemente eutrofizados. Assim, apesar da lagoa não ser muito profunda (profundidade média situada entre 7.5 m e 10 m), a zona eufótica nunca atingiu o fundo, situando-se o seu limite a menos de metade da profundidade da camada de água.

A concentração de oxigénio dissolvido atingiu frequentemente níveis de sobressaturação em toda a coluna de água, mas nos meses de Julho e Setembro observaram-se condições de anaerobiose junto ao fundo, em resultado do desenvolvimento de estratificação térmica, a qual, embora pouco acentuada, já começava a delinear-se em Maio. A pequena profundidade da lagoa e a sua configuração tornam-a particularmente sujeita à influência dos ventos, os quais favorecem a inversão de camadas na massa de água, o que leva à dispersão dos nutrientes retidos nos sedimentos, e entretanto solubilizados durante o período de anóxia.

A concentração de Azoto kjeldhal (Azoto orgânico + Azoto amoniacal) nesta lagoa não apresentou uma variação sazonal muito significativa. No entanto, verificou-se que junto ao fundo o Azoto kjeldhal era constituído fundamentalmente pela forma amoniacal (inorgânica) o que contribui para a conclusão de que existe um processo de solubilização de nutrientes a partir dos sedimentos acumulados no fundo, o qual vai contribuir significativamente para um aumento da produtividade primária desta massa de água, e conseqüentemente para a sua eutrofização. A concentração de Azoto oxidado (Nitritos + Nitratos) não apresentou valores significativamente elevados.

Os valores encontrados para o Fósforo total e Ortofosfatos foram sempre característicos de meios eutróficos (0.03 a 1.5 mg P/l). Com efeito, os valores mais baixos registados foram de 0.32 mg P/l de Fósforo total e 0.22 mg P/l de Ortofosfatos, enquanto os valores mais elevados se situaram em 1.89 mg P/l de Fósforo total e 1.14 mg P/l de Ortofosfatos. É de salientar, ainda, o elevado grau de mineralização verificado nos compostos de Fósforo, uma vez que do Fósforo total solúvel encontrado, mais de 90 % se apresentava na forma de Ortofosfatos. Além disso, tendo-se registado os valores mais elevados destes parâmetros em Setembro e Julho, este facto vêm corroborar a tese da existência de um significativo processo de solubilização de nutrientes a partir dos sedimentos do fundo.

Os valores encontrados para o C.Q.O. e para o C.B.O.5 foram relativamente elevados para meios desta natureza, o que traduz a existência de quantidades apreciáveis de matérias oxidáveis, as quais irão contribuir para um consumo apreciável do oxigénio dissolvido, e conseqüentemente

para o estabelecimento das condições de anóxia tão nefastas ao equilíbrio químico e biológico da massa de água. A variação sazonal destes parâmetros não foi muito acentuada.

As águas desta lagoa são particularmente ricas em todos os elementos metálicos pesquisados, mas sobretudo em Ferro e Silica. É de salientar, nomeadamente, a ocorrência de concentrações de Silica nesta lagoa pelo menos cinco vezes superiores às detectadas nas lagoas das Sete-Cidades. Estas concentrações podem ter contribuído para o elevado número de diatomáceas encontrados nas amostras desta lagoa.

No que se refere ao Cálcio, verificou-se que a sua concentração se manteve mais ou menos constante ao longo do ano, com excepção do mês de Julho em que os valores observados foram muito baixos. Este facto poderá estar relacionado com a ocorrência de valores de pH superiores a 8 o que provoca a sua precipitação deste elemento sob a forma de Fosfato de cálcio. A sua ressolubilização processa-se logo que o pH diminua para valores próximos da neutralidade.

Nas zonas circundantes à lagoa, o Ferro existe em grande abundância, conforme atestam as inúmeras nascentes de águas minerais ricas naquele elemento. Assim, não é de estranhar a existência de concentrações apreciáveis de Ferro em toda a coluna de água da lagoa.

Foi no ponto de margem situado junto à descarga das caldeiras, que se verificaram os valores mais elevados de concentração de algumas espécies químicas, nomeadamente de Sulfatos, Cloretos, Ferro e Silica (Quadro III). Foi também neste ponto e no ponto localizado no interior da lagoa mas na região frontal à descarga das caldeiras, que se observaram os valores mais elevados de compostos de Fósforo, e de matéria orgânica. Daqui se pode concluir ser a zona de descarga das caldeiras um dos polos principais de enriquecimento da água da lagoa em elementos nutritivos que contribuem para a sua eutrofização.

No que se refere aos compostos de Azoto, não se verificaram grandes variações entre os diversos pontos de amostragem, mantendo-se sempre muito elevadas, para uma massa de água com estas características, as concentrações de Azoto total e Azoto amoniacal. Quanto aos restantes parâmetros, Sódio, Potássio, Cálcio e Magnésio, a flutuação da sua concentração no interior da lagoa também não foi significativa.

A apreciação destes resultados leva-nos a concluir que esta lagoa apresenta um estado trófico relativamente uniforme, mas que a afluência de muitos dos nutrientes responsáveis pela sua eutrofização se processa preferencialmente pela zona onde se situam as caldeiras naturais. Deste modo, a intercepção e desvio da linha de água que canaliza as descargas das caldeiras impõe-se como necessária para o controlo do processo de eutrofização desta lagoa.

Quadro III- Concentrações médias de diversos parâmetros observadas em diferentes pontos de amostragem da lagoa das Furnas.

	F1	F2	F3	F4	F5
Azoto kj. (mg N/l)	2.03	1.94	2.79	2.54	2.36
Azoto am. (mg N/l)	0.449	0.203	0.425	0.285	0.341
Azoto ox. (mg N/l)	0.072	0.085	0.063	0.074	0.091
Fósforo t. (mg P/l)	0.84	1.25	1.07	0.97	1.38
Ortofosf. (mg P/l)	0.69	0.74	0.68	0.68	1.20
C.Q.O. (mg O2/l)	3.7	5.8	4.9	4.9	6.0
C.B.O.5 (mg O2/l)	1.56	2.58	1.65	1.81	2.20
Sódio (mg/l)	23.8	23.7	23.3	24.5	25.1
Potássio (mg/l)	8.07	8.11	8.18	6.51	8.78
Cálcio (mg/l)	3.32	2.81	2.99	3.08	3.28
Magnésio (mg/l)	2.76	2.99	2.84	2.54	3.08
Ferro (mg/l)	0.232	0.19	0.311	0.176	0.609
Silica (mg/l)	7.68	7.67	7.58	7.59	11.7

Os resultados obtidos em amostras de sedimentos e águas intersticiais vieram confirmar a existência de quantidades apreciáveis de Azoto orgânico e amoniacal, bem como de Fósforo, nas amostras quer de sedimentos quer das águas intersticiais, o que contribue para a hipótese de de eutrofização da lagoa estar presentemente a ser alimentada, em grande parte, pela ressolubilização de nutrientes existentes nos sedimentos.

Quadro IV - Resultados médios obtidos para diversos parâmetros em amostras de água da lagoa das Furnas, nos sedimentos e nas águas intersticiais.

	Lagoa Furnas	Águas Intersticiais	Sedimentos
Azoto kj. (mgN/l)	2.24	17.9	5843
Azoto am. (mgN/l)	0.328	10.2	68.4
Azoto ox. (mgN/l)	0.067	0.082	21.9
Fósforo t. (mgP/l)	0.98	0.31	1364
Ortofosf. (mgP/l)	0.69	--	327
C.Q.O. (mg O2/l)	4.6	--	--
C.B.O5 (mg O2/l)	1.9	--	--
Sódio (mg/l)	23.8	30.5	3547
Potássio (mg/l)	7.8	13.1	2456
Cálcio (mg/l)	3.34	3.5	13.6
Magnésio (mg/l)	2.86	1.55	1023
Ferro (mg/l)	0.23	1.07	13779
Silica (mg/l)	7.7	4.3	355

No que respeita a outros elementos, são de salientar as elevadas concentrações de Silica e de Ferro detectadas no sedimento, a par dos baixos teores de Cálcio.

### 5.3 - Lagoa do Fogo

Os resultados obtidos para a profundidade do disco de Secchi e, conseqüentemente, para a profundidade da zona eulótica na lagoa do Fogo, permitiram concluir estarmos na presença de águas de características oligotróficas (profundidade do disco de Secchi igual ou superior a 5 m).

Em relação à temperatura verificou-se uma constância nos seus valores ao longo da coluna de água em todas as colheitas, com excepção da do mês de Julho, altura em que a estratificação térmica foi acentuada. No entanto, não se verificaram condições de anóxia junto ao fundo.

Os resultados obtidos para a concentração de Clorofila *a* registaram algumas flutuações ao longo do ano, mas os valores encontrados, não ultrapassando 5 µg/l, são indicativos de que o meio ainda se encontra oligotrófico.

No entanto, os resultados obtidos para o Azoto kjeldhal (Azoto orgânico + amoniacal) mostraram que os seus valores são significativos para uma massa de água deste tipo, embora durante o Verão o Azoto amoniacal, com teores quase nulos possa ter limitado o crescimento do fitoplancton.

No que se refere ao Fósforo, a principal conclusão a que se pode chegar é de que os seus teores não serão de forma nenhuma limitantes ao crescimento do fitoplancton. Com efeito, os valores encontrados para o Fósforo total são cerca de dez vezes superiores aos que são normalmente referidos (Mitchell, 1972; Waite, 1984; Moss, 1988) como característicos de meios oligotróficos (0.01 a 0.04 mg P/l), encontrando-se, além disso, em grande percentagem na forma de Ortofosfatos facilmente assimiláveis pelo fitoplancton. A origem deste nutriente, e a forma como ele atinge a massa de água desta lagoa, é de difícil explicação, uma vez que os terrenos da bacia hidrográfica que lhe está associada não são utilizados em agricultura ou pastagens para gado bovino. No entanto, as escarpas são povoadas por inúmeras aves, que aí nidificam e habitam, e por cabras que pastam em zonas de difícil acesso. Os excrementos destes animais, bem como a queima do coberto vegetal que tem sido efectuada, poderão estar na origem dos elevados teores em Fósforo que foram registados, particularmente nos meses de Primavera e Verão, alturas do ano em que o número de aves nestas paragens é mais significativo.

Os valores encontrados para a concentração de matéria orgânica, expressa em Carência Química em Oxigénio (C.Q.O.) e em Carência Bioquímica em Oxigénio ao quinto dia (C.B.O.5), nas amostras de água colhidas na lagoa do Fogo indicaram não haver grande contaminação desta massa de água por matérias orgânicas oxidáveis.

Dos elementos minerais analisados, com excepção do Cálcio e da Silica que atingiram valores muito baixos ou nulos em algumas colheitas, o que poderá ter limitado o desenvolvimento do fitoplancton em geral, no caso do Cálcio, e das Diatomáceas em particular, no caso da Silica, todos se encontraram em concentrações não limitantes ao desenvolvimento do fitoplancton.

Relativamente à acidez e alcalinidade, parâmetros que não costumam assumir grande relevância em massas de água naturais, no caso desta lagoa chama-se a atenção para o facto de se terem registado valores muito baixos de alcalinidade. Possibilitando este parâmetro uma medida indirecta do teor em bicarbonatos e em carbonatos do meio, os quais constituem a fonte de Carbono utilizada pelos seres autotróficos, nomeadamente pelas algas verdes, pode concluir-se existirem concentrações muito baixas destes iões. Assim, poderá ser o Carbono um dos elementos limitantes ao desenvolvimento do fitoplancton na lagoa do Fogo, e consequentemente à progressão da sua eutrofização.

Os resultados obtidos na análise físico-química dos sedimentos e da águas intersticiais desta lagoa permitiram verificar serem as concentrações dos diversos nutrientes, e nomeadamente do Azoto e Fósforo, significativamente mais baixas que as encontradas nos sedimentos e águas intersticiais das restantes lagoas analisadas. É de salientar, no entanto, que a concentração de Fósforo não deixa de ser elevada, confirmando-se assim a existência deste elemento em quantidades não limitantes ao crescimento do fitoplancton. A vantagem desta lagoa em relação às restantes reside no facto de a estratificação térmica estival não ser muito acentuada, o que não permite a criação de condições de anaerobiose junto ao fundo, mantendo-se assim o Fósforo aprisionado nos sedimentos.

Quadro V - Resultados médios obtidos para diversos parâmetros em amostras de água da lagoa do Fogo, nos sedimentos e nas águas intersticiais.

	Lagoa do Fogo	Águas Intersticiais	Sedimentos
Azoto kj. (mgN/l)	1.44	9.0	2888
Azoto amon. (mgN/l)	0.107	0.94	22.2
Azoto oxid. (mgN/l)	0.042	0.218	19.3
Fósforo total (mgP/l)	0.38	0.31	858
Ortofosfatos (mgP/l)	0.20		198
Silica (mg/l)	0.6	2.9	99
Sódio (mg/l)	12.1	14.3	5116
Potássio (mg/l)	1.95	1.80	3795
Cálcio (mg/l)	1.24	2.25	214
Magnésio (mg/l)	0.79	0.70	1056
Ferro (mg/l)	0.063	0.09	10891

Em relação aos outros parâmetros assinala-se a existência de Silica em concentrações relativamente baixas, ao contrário do Ferro e do Sódio que ocorrem em quantidades significativas.



#### 5.4 - Definição do estado trófico das lagoas

O Quadro apresenta os valores extremos de Fósforo total, Azoto total, Clorofila a e profundidade do disco de Secchi, referidos por diversos autores como característicos de cada estado trófico, assim como os resultados obtidos para os mesmos parâmetros nas lagoas de S. Miguel.

Quadro VI - Resultados obtidos para alguns parâmetros nas lagoas estudadas, em comparação com os referidos por diversos autores como característicos dos diversos estados tróficos

Parâmetros	ESTADO TRÓFICO			LAGOA			
	Oligotrofia	Mesotrofia	Eutrofia	Azul	Verde	Furnas	Fogo
Fósforo total(mg/l)	0.003-0.018	0.011-0.096	0.016-0.39	0.3-0.69	0.35-0.59	0.7-1.38	0.29-0.49
Azoto total (mg/l)	0.31-1.63	0.36-1.39	0.39-6.1	1.29-3.87	2.05-2.94	1.81-3.12	1.16-1.66
Clorofila a ( µg/l)	0.3-1.5	3.0-11	3.0-78	0.24-14.5	0.04-17.4	18.0-68.9	0.01-3.72
Prof. dis. Secchi(m)	5.4-28.3	1.5-8.1	0.8-7	1.2-5.5	1.5-4.0	0.6-1.2	2.0-6.5

Da análise e discussão dos resultados obtidos, constata-se que o estado de qualidade da água das lagoas das Sete-Cidades se afasta já consideravelmente do que seria desejável (oligotrofia), além de apresentar condições que podem levar ao seu agravamento.

Quanto à lagoa das Furnas o estudo é conclusivo quanto ao estado avançado de degradação da qualidade da massa de água. A lagoa encontra-se eutrofizada, como demonstram os valores medidos para profundidade de penetração da luz, as concentrações dos diversos nutrientes e os teores em Clorofila a.

No que respeita à lagoa do Fogo, os valores encontrados indicam que esta lagoa ainda se encontra em estado de oligotrofia, ou seja, a sua água apresenta uma boa qualidade. Com efeito, os valores encontrados para a profundidade de penetração do disco de Secchi na massa de água, para o Oxigénio dissolvido e para a Clorofila a são característicos de meios oligotróficos. No entanto, o mesmo não se poderá dizer dos teores em Azoto, e sobretudo em Fósforo, os quais ultrapassaram os limites da oligotrofia, situando-se em níveis próprios de meios mesotróficos, ou mesmo eutróficos.

## 6 - METAIS PESADOS NAS LAGOAS

Em águas não poluídas as concentrações de metais pesados que têm sido referidas como normais são as que constam do Quadro VII (Moore, 1984).

Quadro VII - Concentrações de metais pesados em águas não poluídas (Moore, 1984)

Metais	Concentração ( $\mu\text{g/l}$ )
Cobre	0.5 a 1
Zinco	0.5 a 15
Cádmio	0.01 a 0.1
Chumbo	$\leq 3$

As concentrações médias de metais pesados registadas para as diversas lagoas encontram-se no Quadro VIII.

Quadro VIII - Concentrações médias de metais pesados nas lagoas estudadas

	L. Azul	L. Verde	L. Furnas	L. Fogo
Cobre ( $\mu\text{g/l}$ )	14	17	20	21
Zinco ( $\mu\text{g/l}$ )	5	11	4	4
Cádmio ( $\mu\text{g/l}$ )	7	8	7	5
Chumbo( $\mu\text{g/l}$ )	49	49	16	54

Estes resultados permitem concluir que, à excepção do Zinco, todos os outros metais se encontram em concentrações elevadas, mais próprias de regiões poluídas do que de uma zona onde a actividade industrial é muito pequena. No entanto nenhum deles atingiu níveis que pudessem provocar toxicidade a invertebrados, peixes ou plantas aquáticas (Moore, 1984). A sua ocorrência pode ser resultante da actividade vulcânica que se regista um pouco por toda a parte da ilha de S. Miguel.

Nas lagoas das Furnas e Fogo, a concentração média de Cobre ultrapassou o valor máximo recomendado pelo Dec. Lei. n.º 74/90 para águas destinadas à produção de água alimentar (20  $\mu\text{g/l}$ ), mas não o valor máximo admissível (50  $\mu\text{g/l}$ ). No entanto, as concentrações de Cádmio e Chumbo ultrapassaram os valores máximos admissíveis para estes metais, e que são, respectivamente, 5 e 50  $\mu\text{g/l}$ , embora na lagoa do Fogo se encontrem muito próximos desse nível. Consequentemente, se a água vier a ter a utilização referida, estes parâmetros deverão ser controlados.

## 7 - RESÍDUOS DE COMPOSTOS ORGANOCLORADOS DETECTADOS NA ÁGUA DAS LAGOAS

Em todas as amostras de água das lagoas foram detectados os congêneres predominantes em misturas industriais com menor percentagem de cloração (IUPAC N° 20, 28, 44, 49 e 52), o que se explica pela sua maior solubilidade na água, em relação aos congêneres que têm um número maior de átomos de cloro na sua constituição molecular.

Os congêneres mais clorados só foram detectados ocasionalmente, e mesmo assim em concentrações muito próximas do limite de detecção do método. Os seus valores médios anuais foram da mesma ordem de grandeza nas três lagoas. É de supor, contudo, que estes congêneres, dado o seu carácter lipofílico, sejam preferencialmente detectados em organismos vivos ou em sedimentos.

Em relação aos pesticidas organoclorados, verificou-se que os resíduos de heptacloroepóxido, aldrina e dieldrina não foram detectados em todas as colheitas, e quando o foram os seus valores situaram-se sempre próximo do limite de detecção do método. Os principais componentes do clordano foram apenas detectados em uma amostra da lagoa das Furnas, e com valores próximos do limite de detecção. No entanto, dado o seu carácter lipofílico, não se pode eliminar a hipótese de haver um processo de bioacumulação em peixes predadores.

De todos os pesticidas pesquisados, o lindano foi o que apresentou os teores mais elevados, certamente devido à sua solubilidade na água ser cerca de mil vezes superior à dos restantes pesticidas. Os valores mais elevados foram observados na lagoa do Fogo (0.36 - 12.9 ng/l). Na lagoa do Fogo, a concentração total máxima dos isómeros do HCH situou-se em 20.5 ng/l, seguindo-se a lagoa das Furnas com 1.7 ng/l.

Os teores mais elevados de pentaclorobenzeno registaram-se na lagoa das Furnas e na lagoa do Fogo bem como os de hexaclorobenzeno. Os valores médios anuais destes compostos foram, em qualquer das lagoas, superiores aos previsíveis em meios não contaminados.

Relativamente ao DDT e aos produtos da sua degradação, apenas foram encontrados resíduos de DDE, e mesmo assim com valores próximos do seu limite de detecção. Os seus valores médios anuais foram da mesma ordem de grandeza em qualquer das lagoas estudadas.

A concentração mais elevada de endrina foi observada, na lagoa Verde. É de alertar para o facto de esta concentração se aproximar do VMA estabelecido para este pesticida pela Directiva 88/347/CEE de 16 de Junho de 1988.

A presença dos compostos organoclorados pesquisados, e particularmente dos PCB's, nas lagoas da ilha de S. Miguel, poderá atribuir-se em parte a transporte atmosférico. Com efeito, nenhuma das lagoas estudadas se pode considerar afectada por actividades industriais, e mesmo as actividades agrícolas não são praticadas no seio da bacia hidrográfica da lagoa do Fogo. Além disso, o facto de a direcção de incidência dos ventos dominantes, durante uma boa parte do ano, ser de N-NE, poderá favorecer o transporte de partículas atmosféricas com origem nos países mais industrializados do norte da Europa.

Relativamente aos elevados teores encontrados para o lindano, associado aos isómeros a - e b - HCH, eles poderão ser devidos a práticas agrícolas na ilha. A sua ocorrência em concentrações mais elevadas em Novembro poderá estar associada à maior quantidade de precipitação caída neste mês.

É de salientar que na lagoa Verde se detectaram teores de compostos organoclorados globalmente superiores aos registados na lagoa Azul. Considerando que as escarpas envolventes da lagoa Verde são ocupadas por vegetação arbórea perene, este facto poderá ser atribuído a um transporte destes contaminantes a partir da lagoa Azul, o qual será favorecido pela direcção de incidência dos ventos dominantes.

O facto destes compostos terem sido detectados em amostras de água das lagoas indicia a sua acumulação no fitoplankton, zooplankton, peixes e sedimentos. A comprovação e quantificação desta acumulação só será possível com a realização de posteriores trabalhos .

## **8 - QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DAS LAGOAS**

De um modo geral a água das lagoas Azul e Verde apresentou uma qualidade microbiológica aceitável, no entanto, alguns parâmetros ultrapassaram por vezes os limites estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 74/90, de 7 de Março, para águas de recreio com contacto directo. Esta ocorrência verificou-se sobretudo na lagoa Azul, onde o valor máximo admissível de Estreptococos fecais em águas destinadas a banho, e que é de 100 NMP/100 ml, foi frequentemente ultrapassado em amostras de todos os pontos de amostragem.

O facto de terem ocorrido sobretudo valores elevados de Estreptococos fecais é mais um indicio de que a degradação da qualidade da água desta lagoas é devida em grande parte à presença de animais nas imediações. Com efeito, quando as amostras de água apresentam um maior número de Estreptococos fecais que de Coliformes fecais, admite-se como mais provável que a contaminação tenha uma origem predominantemente animal. Se acontecer o contrário será, provavelmente de origem humana.

Além disso, as amostras, e não só as de fundo, apresentaram frequentemente resultados positivos para a pesquisa de Clostrídios sulfito-redutores e Pseudomonas. Os primeiros indicam a ocorrência de contaminação orgânica das águas, que poderia não ser recente, mas que os restantes resultados demonstraram ser continuada. Os segundos podem ser patogênicos para o homem ou animais.

A distribuição espacial dos resultados não foi conclusiva quanto à possível ocorrência, na lagoa Azul, de zonas mais contaminadas que outras. Aparentemente, e à semelhança do que atrás foi dito em relação aos parâmetros físico-químicos, os poluentes que atingem a massa de água são rapidamente distribuídos por ela, provavelmente por acção de ventos ou correntes.

Na lagoa Verde, apenas uma amostra ultrapassou o valor máximo permitido para os Estreptococos fecais em águas de banho. No entanto a presença de Clostrídios foi quase uma constante, corroborando a ideia de que a poluição é arrastada da lagoa Azul para a Verde, onde a matéria orgânica tende a acumular-se. A presença de Pseudomonas foi detectada por duas vezes no ponto central da lagoa Verde, nas colheitas de Outono e Inverno.

Pelo que atrás foi dito, e face aos resultados obtidos, a utilização da água destas lagoas para banho pode constituir um risco para a saúde, pelo que a população deve ser alertada para o facto. O impedimento de acesso às lagoas do gado bovino certamente contribuirá para o restabelecimento, a curto prazo, de uma boa qualidade microbiológica destas águas.

Na lagoa das Furnas verificou-se ser muito frequente a presença de Clostrídios sulfito-redutores, não só em amostras colhidas junto ao fundo, como em amostras de superfície e meio da coluna de água, o que poderá estar associado à existência de uma contaminação orgânica acentuada, a qual pode não ser de origem fecal. Com efeito, não foram encontradas concentrações muito elevadas de germens indicadores de contaminação fecal, como Coliformes e Estreptococos fecais. A presença de Pseudomonas foi detectada em duas amostras colhidas junto ao fundo na colheita de Outono o que não se revela preocupante uma vez que em mais nenhuma colheita foram encontrados estes microrganismos.

Foi sobretudo na contagem de germens mesófilos aeróbios, a 20° C e a 37° C, na lagoa das Furnas, que se encontraram os valores mais elevados. A existência de tão grande número destes organismos, os quais constituem a flora habitual de meios hídricos superficiais, indica que as condições do meio, rico em matéria orgânica, são propícias ao desenvolvimento de microrganismos decompositores.

De qualquer forma, a qualidade microbiológica destas águas é aceitável, embora a sua

utilização para recreio com contacto directo (banho) não deva ser aconselhada sem que se proceda à confirmação destes resultados.

Os resultados obtidos na lagoa do Fogo permitiram verificar que a água possui, em geral, uma boa qualidade microbiológica. No entanto, em algumas amostras ainda foram encontrados *Streptococos* fécais, embora com um valor de NMP reduzido (entre 4 e 21 organismos por 100 ml), *Pseudomonas* e *Clostrídios* sulfito-redutores. Esta aparente e esporádica contaminação da massa de água poderá estar relacionada com a existência de animais nas vertentes adjacentes à lagoa, e ser devida ao arrastamento de excrementos pelas águas pluviais.

## 9 - QUALIDADE DAS AGUAS DE ESCORRENCIAS ÀS LAGOAS

A recolha de águas de escorrências às lagoas teve como objectivo procurar determinar até que ponto elas são responsáveis pela afluência de nutrientes, matéria orgânica ou metais à massa de água lacustre. Os resultados médios obtidos encontram-se no Quadro IX.

Quadro IX - Resultados médios obtidos para diversos parâmetros em amostras de água das lagoas e de escorrências.

	Lagoa Azul	Lagoa Verde	Esc. 1	Esc. 2	Lagoa Furnas	El. Cald.	Salto da Inglesa	Rib. do Rosário
Azoto kj. (mgN/l)	<b>2.29</b>	<b>2.37</b>	1.96	1.68	<b>2.24</b>	5.55	0.93	1.49
Azoto am. (mgN/l)	<b>0.222</b>	<b>0.206</b>	0.374	0.505	<b>0.328</b>	4.56	0.397	0.352
Azoto ox. (mgN/l)	<b>0.042</b>	<b>0.043</b>	0.069	0.068	<b>0.067</b>	0.186	0.671	0.491
Fósforo t. (mgP/l)	<b>0.42</b>	<b>0.48</b>	0.99	0.52	<b>0.98</b>	ind.	1.28	1.26
Ortofosf. (mgP/l)	<b>0.14</b>	<b>0.31</b>	0.36	0.16	<b>0.69</b>	3.51	1.04	0.97
C.Q.O. (mg O <sub>2</sub> /l)	<b>3.8</b>	<b>4.7</b>	18.0	17.0	<b>4.6</b>	6.2	14.3	14.5
C.B.O <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>	4.2	8.8	<b>1.9</b>	1.1	1.8	3.7
Sódio (mg/l)	<b>21.8</b>	<b>27.2</b>	45.8	31.1	<b>23.8</b>	71.6	34.5	31.4
Potássio (mg/l)	<b>4.77</b>	<b>3.32</b>	26.0	11.5	<b>7.8</b>	33.5	10.7	9.95
Cálcio (mg/l)	<b>2.27</b>	<b>2.24</b>	0.28	0.24	<b>3.34</b>	14.4	1.05	0.95
Magnésio (mg/l)	<b>1.71</b>	<b>1.24</b>	3.58	2.00	<b>2.86</b>	13.3	2.52	1.88
Ferro (mg/l)	<b>0.156</b>	<b>0.108</b>	9.5	3.2	<b>0.23</b>	14.1	0.101	0.465
Sílica (mg/l)	<b>0.2</b>	<b>2.1</b>	3.1	4.5	<b>7.7</b>	62.8	25.9	22.6

Nas escorrências às lagoas das Sete-Cidades, foi sobretudo a concentração de matéria orgânica, expressa em C.Q.O. e C.B.O<sub>5</sub>, que apresentou valores significativamente mais elevados que os encontrados no interior das mesmas. Também o Fósforo total e os Ortofosfatos parecem ser arrastados em grande quantidade por estas águas, enquanto que o Azoto kjeldhal (orgânico+amoniaco) foi detectado em maior quantidade no interior das lagoas. O Azoto amoniacal, por constituir compostos relativamente solúveis, também sofreu algum arrastamento, embora não muito significativo. A concentração de Azoto oxidado (Nítritos + Nítratos) nas escorrências foi apenas ligeiramente mais elevada que a que se verificava no interior das lagoas. Como estas

formas são extremamente solúveis, pode concluir-se não haver grande acumulação destes compostos nos terrenos circundantes.

Em relação aos metais e metais pesados, com excepção do Cálcio, pode verificar-se ter havido um arrastamento significativo. Com efeito, as concentrações de Sódio, Potássio, Magnésio, Ferro e Silica nas amostras das escorrências foram significativamente superiores às que se verificaram nas lagoas. Dos metais pesados, foram o Chumbo e o Zinco aqueles que apresentaram concentrações mais elevadas nas águas de escorrências. Estes factos estarão certamente relacionados com a composição química das rochas e terrenos circundantes, uma vez que não existem actividades industriais na região.

Também nestas amostras foram encontrados os mesmos resíduos de pesticidas organoclorados e de congéneres de clorobifenilos que já tinham sido detectados nas amostras de água das lagoas, e em concentrações próximo da média destas. Existe, portanto, um arrastamento destes compostos para o interior das lagoas, a partir dos terrenos adjacentes.

A caracterização das escorrências à lagoa das Furnas baseou-se na amostragem dos dois principais cursos de água alluentes, a ribeira do Rosário e a ribeira do Salto da Inglesa, e de um pequeno canal natural através do qual se processa a descarga de águas das caldeiras.

Os resultados obtidos permitiram concluir ter sido na descarga das caldeiras que foram detectadas as maiores concentrações de compostos de Azoto e de Ortofosfatos, bem como de metais, enquanto que a concentração de matéria orgânica, expressa em C.Q.O. e em C.B.O.5 foi mais acentuada nas amostras colhidas nas ribeiras. Comparando os resultados médios obtidos nas amostras de águas de escorrências com os da água da lagoa, verificou-se que as concentrações das espécies inorgânicas de Azoto e Fósforo foram substancialmente mais elevadas nas escorrências que no interior da lagoa, pelo que estas constituirão, certamente, uma das origens para a afluência destes nutrientes à massa de água.

A pesquisa de compostos organoclorados realizada em amostras de água das escorrências, permitiu detectar alguns dos PCB's encontrados nas amostras de água da lagoa, o que poderá significar que os terrenos adjacentes também estão contaminados com estas substâncias, das quais as mais solúveis são arrastadas pelas águas das chuvas. Os pesticidas organoclorados detectados foram o Pentaclorobenzeno nas amostras da Ribeira do Rosário e do Salto da Inglesa, e o Hexaclorobenzeno e isómero  $\gamma$  do Hexaclorociclohexano (Lindano) apenas na Ribeira do Rosário. É de salientar, portanto, a maior probabilidade de transporte destas substâncias pela Ribeira do Rosário a qual é proveniente de uma zona de maior actividade agrícola.

## 10 . BIBLIOGRAFIA

- Allen, H.L.(1972). Phytoplankton photosynthesis, micronutrients interactions and inorganic carbon availability in a soft-water Vermont Lake. *Simp. Nutrients and Eutrophication. Amer. Soc. Limnol. Oceanography*, pp.63-83.
- Cunha e Cardoso, M.T. (1985). *Eutrofização cultural. Causas e Consequências*. Inst. Superior de Agronomia, Lisboa.
- Fee, E.J. (1974). Experimental Lakes Area: Whole Lake Experiments of Eutrophication. *J. Fish Res. Bd. Canada*, **31**, pp.937-953.
- Hutchinson, G.E. (1969). Eutrophication, past and present. *Simp. Eutrophication : Causes, consequences, correctives. Nat. Acad. Sci.*, pp.17-28.
- King, D.L. (1970). The role of carbon in eutrophication, *J.W.P.C.F.*, **42**, pp.2035-2051.
- Mitchell, R. (1972) Ed., *Water Pollution Microbiology*. Wiley - Interscience, pp.11-68
- Moore, J.W.; Ramamoorthy, S., (1984), *Heavy Metals in Natural Waters*, Springer-Verlag, New York, 259p.
- Moss, B. (1988). *Ecology of Fresh Waters*. Blackwell Scientific Publications, London
- Rosén, G. (1981). Phytoplankton indicators and their relations to certain chemical and physical factors. *Limnologica*, **13**, p. 263-290.
- Round, F.E. (1973). *The Biology of Algae*. Edward Arnold, London.
- Santos, M.C.R., Santana, F.J.P., Rodrigues, A.M.F., Sobral, M.P. (1991). *O Controlo da Eutrofização nas Lagoas de S. Miguel - Acores. Parte I - As lagoas das Sete-Cidades, Parte II- A lagoa das Furnas*. Relatório Técnico, D.C.E.A./ U.N.L., 136p.
- Schelske, C.L.; Stoermer, E.F. (1971). Eutrophication, silica depletion and predicted changes in algal quality in lake Michigan. *Science*, **173**, pp.423-424.
- Schindler, D.W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: implication for lake management. *Science*, **184**, pp.897-899.
- Waite, T.D., (1984). *Principles of Water Quality*. Academic Press, New York, pp.100-129
- Wetzel, R.G. (1972). The role of carbon in hard-water marl lakes. *Simp. Nutrients and Eutrophication. Amer. Soc. Limnol. Oceanog.*, pp.84-97.