UNIVERSIDADE DE ÉVORA

MESTRADO EM ECOLOGIA HUMANA

QUALIDADE DA ÁGUA

A EUTROFIZAÇÃO DA ALBUFEIRA DE MONTE NOVO

Maria de Lourdes Alves Pimenta da Silva Pinheiro

Orientador: Professor Doutor Alexandre Martins Moniz de Bettencourt

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

Évora

2005

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

MESTRADO EM ECOLOGIA HUMANA

QUALIDADE DA ÁGUA

A EUTROFIZAÇÃO DA ALBUFEIRA DE MONTE NOVO

Maria de Lourdes Alves Pimenta da Silva Pinheiro

170 103

Orientador: Professor Doutor Alexandre Martins Moniz de Bettencourt

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

Évora

2005

Ao meu marido

Aos meus sobrinhos Francisco, Leonor e Margarida

AGRADECIMENTOS

Na elaboração deste trabalho muitos foram os que, directa ou indirectamente, contribuíram para a sua realização. A todos o meu muito obrigado.

Pelo maior envolvimento que nele tiveram, são merecedores de um agradecimento explícito:

- O Professor Doutor Alexandre Martins Moniz de Bettencourt da Universidade de Évora, por ter aceite ser o meu orientador científico;

- O Professor Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho do Instituto Superior de Agronomia, pelas suas valiosas sugestões, pela atenção e disponibilidade dispensadas, que muito contribuíram para a realização deste trabalho;

- A Professora Doutora Maria Manuela Morais da Universidade de Évora, pelo auxílio precioso na elaboração deste trabalho, em particular no tratamento e análise estatística dos resultados e revisão crítica de alguns capítulos;

- A Professora Doutora Manuela Oliveira da Universidade de Évora, pelas preciosas sugestões no tratamento matemático dos resultados, nomeadamente na análise multivariada;

- Os Dr. André Matoso e Drª Maria João Rasga da Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo, pelas facilidades proporcionadas no acesso e utilização dos dados analíticos que possibilitaram a realização deste estudo;

- O Professor Doutor José Manuel Pereira Branco de Mascarenhas da Universidade de Évora, Director do Curso de Mestrado em Ecologia Humana, pela disponibilidade e apoio ao longo de todo o curso de mestrado;

- O Doutor Miguel de Castro Neto, pelo apoio e palavra amiga;

- O Eng. Manuel Lacerda pelos valiosos contactos que me proporcionou;

- Por último, um agradecimento muito especial ao meu marido, António, pelo carinho e incentivo que sempre me manifestou, e pela revisão exaustiva de alguns dos capítulos deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho põe-se em destaque a importância da água como suporte de todas as formas de vida, e realça-se a necessidade de preservar este recurso escasso, que é fundamental para o desenvolvimento económico e social e para o bem-estar das populações. Faz-se notar que só 2,5% da água existente na Terra é água doce e que o seu consumo tem aumentado muito nas últimas décadas, sendo imperioso utilizar este recurso natural de forma sustentável para não comprometer a vida humana em muitas regiões do mundo.

A eutrofização é uma das causas da degradação da qualidade da água doce, nomeadamente albufeiras, que a pode tornar imprópria para o consumo humano ou exigir tratamentos muito dispendiosos. O presente estudo teve por objectivo avaliar a qualidade da água e o estado trófico da albufeira de Monte Novo, que abastece a população da cidade de Évora.

Tirando partido de um conjunto de parâmetros físico-químicos e biológicos que, sistematicamente são determinados pela Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo, tentou avaliar-se a evolução da qualidade da água e do estado trófico, naquela albufeira, no período de Janeiro de 2001 a Dezembro de 2003.

Utilizando um modelo de regressão linear múltipla e a análise em componentes principais procurou avaliar-se a variação daqueles parâmetros não só ao longo do tempo, mas também com a profundidade a que a amostra foi colhida.

A albufeira foi classificada de eutrófica, nos três anos do estudo, sendo o parâmetro orientador dessa classificação, em todos os anos, o fósforo total.

O trabalho termina apresentando algumas medidas que é urgente implementar para que a situação de eutrofização da barragem de Monte Novo não se agrave, o que

poderia ter consequências muito graves no abastecimento público à cidade de Évora.

WATER QUALITY – Eutrophication in the Monte Novo Reservoir

ABSTRACT

This work begins by calling attention to the crucial roll of water as a life support, with a remind of how important it is to use water as a scarce resource. All over the world water is fundamental for economic and social development, and is critical for human well-being. It notes that only 2.5% of the water on the earth is fresh water. The demand for fresh water has increased considerably during the last decades. So, in many regions of the world, life may be in danger if fresh water is not used in a sustainable way.

Eutrophication is recognised as a problem in fresh water leading to problems in public water supply systems, and which can only be resolved at considerable expense. The aim of the present work was to study the evolution of water quality and trophic status in the Monte Novo reservoir, which supplies the water for the population of Évora.

Using the data available (physical, chemical and biological parameters), regularly analysed by Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo, it was possible to evaluate the evolution of water quality and trophic status in this reservoir during the period from January 2001 to December 2003.

Using regression and principal components analysis, a study was conducted of the evolution of a set of parameters during time and in relation to the deepth where the water was sampled.

During the three years studied, the water in the reservoir was classified as eutrophic. Total phosphorus was the determinant parameter for this classification, during all three years.

This work ends by presenting some important measures that should urgently be implemented to avoid the eutrophication in the Monte Novo reservoir becoming worse, a situation which, if it happens, may have severe consequences for the public water supply to Évora.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO 11

2. CARACTERIZAÇÃO DA ALBUFEIRA DE MONTE NOVO 16

2.1. Morfologia do solo 16

2.2. Uso do solo 18

2.3. Caracterização climática 21

2.3.1. Precipitação 22

2.3.2. Temperatura 23

2.3.3. Determinação do período seco 25

2.3.4. Classificação climática 27

3. METODOLOGIA 28

3.1. Compilação de dados 28

3.2. Tratamento de resultados 30

3.2.1. Análise gráfica 30

3.2.2. Análise estatística 30

3.2.3. Avaliação da qualidade da água 35

3.2.3. Avaliação do estado trófico 41

4. RESULTADOS E SUA ANÁLISE 43

4.1. Estratificação sazonal e sua dinâmica 43

4.1.1. Temperatura 43

4.1.2. Oxigénio dissolvido 45

4.1.3. pH 48

4.1.4. Transparência 49

4.2. Mineralização 50

4.2.1. Condutividade e Dureza total 50

4.2.2. Sólidos suspensos totais 52

4.2.3. Cloretos 54

4.3. Parâmetros indicadores de matéria orgânica no sistema 55

4.3.1. Carência química de oxigénio (CQO) 55
4.3.2. Carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) 56
4.3.3. Oxidabilidade 57
4.4. Nutrientes 59
4.4.1. Azoto 59
4.4.2. Fósforo 65
4.4.3. Relação Azoto:Fósforo 69
4.5. Descritores Biológicos 71
4.5.1. Clorofila *a* 71
4.5.2. Coliformes totais 73
4.5.3. Relação entre descritores biológicos e físico-químicos 76
4.6. Análise global dos descritores 78

5. CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA RELATIVAMENTE AOS USOS ESTADO DE CONTAMINAÇÃO E DE EUTOFIA 96
5.1. Classificação da água relativamente aos usos 97
5.2. Classificação qualitativa da água para usos múltiplos 99
5.3. Classificação do estado trófico 100

6. CONCLUSÕES 113

BIBLIOGRAFIA 118

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial a todas as formas de vida, com particular relevância no nível do bem-estar dos Seres Humanos.

Como bem ambiental, a água é fundamental para a satisfação das necessidades humanas básicas, influenciando de modo decisivo a qualidade de vida das populações e a manutenção dos ecossistemas. O Homem utiliza a água em seu benefício e para vários fins: consumo doméstico, agricultura, pecuária, indústria, produção de energia, recreio e lazer, suporte para a deslocação e ainda como veículo para efluentes.

A importância da água em qualquer modelo de desenvolvimento económico e social é inquestionável. A humanidade tem o seu desenvolvimento associado aos usos da água e durante muitos anos o Homem considerou-a um recurso inesgotável. Porém, nos nossos dias a realidade é bem diferente, pois à medida que as populações e as actividades económicas crescem, alguns países começam a deparar-se com problemas de escassez de água, defrontando-se com limitações no seu crescimento económico.

Segundo a Organização das Nações Unidas anualmente 1,1 mil milhões de pessoas não tem acesso a água potável e 80% das doenças do mundo resultam deste facto. As estimativas da ONU apontam ainda para que em 2025, se o consumo se mantiver como actualmente, mais de 2,5 mil milhões de pessoas, quase metade da população mundial, vão ser confrontadas com falta de água[1]. Um Relatório do Banco Mundial de 1995 refere que, no século XXI, a disputa da água poderá ser a principal fonte de conflitos entre as nações.

Apesar de ser o recurso mais abundante do planeta, ocupando 70% da superfície terrestre, só 2,5% é água doce e desta apenas 1% se destina ao consumo humano (Golterman, 1975). Esta pequena parcela de água disponível mostra a necessidade

[1] Departamento de Informação Pública da ONU, DPI/2283/Rev.1, Dezembro 2002

que há em utilizar, de forma sustentável, as reservas de água doce ainda existentes, que nas últimas décadas, devido sobretudo ao crescimento demográfico, à urbanização, à intensificação da agricultura e à expansão industrial, têm sofrido uma redução quantitativa e qualitativa, podendo, por vezes, pôr em risco não só a saúde pública, mas também a fauna e a flora.

Embora em Portugal o consumo de água tenha sofrido um aumento considerável nas últimas décadas, devido ao desenvolvimento económico do país, a disponibilidade de água ainda não constitui um problema. De acordo com os dados do Banco Mundial estimou-se a disponibilidade de água doce por habitante em Portugal, para 1999, em cerca de 7207,9 m^3. Isto quer dizer que a falta de recursos hídricos (escassez de primeira ordem) em Portugal não é relevante, o que significa que a disponibilidade de água não põe em perigo a qualidade de vida, antes pelo contrário, aquele valor é bastante mais alto quando comparado com outros países da Europa. O que pode ser relevante é a falta de equipamentos sociais para fazer a gestão dos recursos hídricos (escassez de segunda ordem) porque o volume total de água disponível é irregularmente distribuído no espaço e no tempo.

O Alentejo e o Algarve são as regiões do país onde as carências de água apresentam uma maior intensidade e alguns problemas relativamente à qualidade. Este facto, deve-se às características do clima mediterrânico que se faz sentir de modo intenso nestas regiões de Portugal, verificando-se uma maior variação temporal na distribuição da água. Isto é, ocorre uma concentração da precipitação e escorrência em períodos relativamente curtos, entre os meses de Novembro e Abril, com um máximo em Fevereiro, e a ocorrência de períodos prolongados de seca, principalmente no Verão. O facto de nos períodos em que as disponibilidades de água são mais reduzidas surgirem elevados consumos sazonais, particularmente pelas actividades agrícolas e turísticas, leva a que possam ocorrer situações críticas de seca, sazonais localizadas. Por outro lado, as escorrências, no período chuvoso, contribuem para que haja um transporte para as albufeiras de nutrientes utilizados nas actividades agrícolas praticadas nas respectivas bacias, que, por sua vez, vão

fertilizando a massa de água e, assim, contribuindo para a degradação da qualidade da água.

Apesar de em Portugal existirem grandes reservas de água subterrânea, a maior parte da população do país é abastecida com água armazenada em albufeiras. As albufeiras são massas de água lênticas que constituem um instrumento essencial à gestão dos recursos hídricos superficiais. A sua construção destina-se a resolver alguns dos problemas que dificultam o desenvolvimento das populações locais, tais como: o regular abastecimento de água à população, à indústria e actividades agrícolas; a produção de energia eléctrica; e, o controlo das cheias. Estes reservatórios permitem um armazenamento de água em tempo de disponibilidade, fornecendo-a em período de escassez (Afonso, 1998).

O equilíbrio da água numa albufeira é expresso pela relação hidrológica básica, segundo a qual a diferença que se verifica na quantidade de água armazenada é dada pela soma de todas as entradas menos a soma de todas as saídas (consumos e perdas). A água entra através de precipitação, afluentes superficiais e fontes subterrâneas, sendo compensada pela utilização humana, ou drenagem através de efluentes superficiais, infiltrações para águas subterrâneas e evapotranspiração (Wetzel,1993).

Na Limnologia, ciência que estuda os ecossistemas de águas interiores, as albufeiras são considerados sistemas lênticos, por apresentarem ausência de corrente. Constituem ambientes intermédios entre os lagos e os rios, com características e dinâmicas próprias. A taxa de renovação da água é mais lenta que num rio e mais rápida que num lago (Pádua, 2001). As albufeiras, não sendo verdadeiros lagos, representam superfícies de água represada, e estão, tal como os lagos naturais, ameaçadas pela contaminação e fertilização contínua (Morais *et al.*, 2003).

A fertilização das massas de água superficiais aumenta a produtividade primária, reduz a qualidade da água, e provoca alterações substanciais das comunidades

existentes, que se tornam instáveis, e, no limite, podem constituir um perigo para a saúde pública (Ferreira *et al.*, 2002.). Um dos problemas mais frequentes nas albufeiras alentejanas é a proliferação de organismos indesejáveis, como as cianobactérias (ou das suas estirpes) produtoras de toxinas, que inibem, lesam ou matam invertebrados e invertebrados, causando graves problemas de saúde pública se a água se destinar ao abastecimento das populações (Morais *et al.*, 2003).

A eutrofização das massas de águas superficiais está, na maior parte das situações, associada a actividades humanas desenvolvidas nas albufeiras e nas respectivas bacias de drenagem e designa-se, habitualmente, por *eutrofização cultural*.

A intensificação das actividades agrícola e industrial, devido ao actual crescimento e concentração da população humana, contribuem para que o fenómeno da eutrofização seja cada vez mais rápido e mais difícil de controlar. A entrada de nutrientes nas albufeiras, principalmente azoto e fósforo, vai alterar o seu estado trófico, evoluindo de oligotrófico a mesotrófico e por último a eutrófico[2]. Em cada um destes estados tróficos ocorrem alterações ecológicas na massa de água, que degradam a qualidade do *habitat*, afectando a biodiversidade (Pierzynski *et al.*, 2000). O estado trófico em que se encontram muitas das albufeiras portuguesas é o eutrófico, que se caracteriza, fundamentalmente, por um aumento da produção primária, depleção de oxigénio nas camadas mais profundas e aumento da turbidez da água. Estas alterações ecológicas reduzem o valor patrimonial e estético das albufeiras, degradando a qualidade da água, e, consequentemente, limitando o seu uso para diversos fins, nomeadamente o abastecimento público e actividades de lazer.

Em Portugal a eutrofização das albufeiras, com a consequente degradação da qualidade da água, é já uma das grandes preocupações ambientais. Há que actuar no sentido de que o fenómeno seja prevenido, retardado e corrigido atempadamente, fundamentalmente, nas albufeiras destinadas ao fornecimento de água às populações. Se se permitir que a eutrofização siga o seu percurso normal,

[2] eutrófico do gr. *eû*. "bem, bom" + *trophé*, "alimentação" + ico (Dicionário da Língua Portuguesa, 2004. Porto Editora. Porto)

poder-se-á estar a hipotecar o futuro das albufeiras destinadas à produção de água para o consumo humano (Margalef, 1994).

Na perspectiva da Ecologia Humana como estudo interdisciplinar das interacções entre as populações e o ambiente (entendendo-se por ambiente não só a sua componente física mas também a sua componente económica, social e cultural), a relação das populações com a água - um recurso natural escasso - deve assentar numa visão fundamentada nos princípios da sustentabilidade e responsabilidade. O Homem, sendo parte integrante do meio ambiente, é responsável pela protecção dos recursos naturais e pela qualidade de vida no Planeta. Assim, o uso da água pelas populações deve ser de modo a satisfazer as suas necessidades presentes, sem comprometer as necessidades e aspirações das gerações futuras.

Este trabalho tem como objectivo o estudo da avaliação da qualidade da água e do estado trófico da albufeira de Monte Novo, durante um período de três anos (2001, 2002 e 2003). Com este objectivo, no capítulo 2 descrevem-se as características da barragem, caracteriza-se o clima da região e a natureza do solo envolvente, os sistemas de agricultura dominantes e as principais fontes de poluição. No capítulo 3 referem-se a natureza dos dados utilizados e os métodos a que se recorreu para a sua análise. No capítulo 4 apresenta-se, com detalhe, os resultados da análise efectuada. A classificação da água relativamente aos usos e ao estado de contaminação e de eutrofia é apresentada no capítulo 5. O trabalho termina sintetizando as principais conclusões e chamando à atenção para algumas medidas que é necessário e urgente pôr em pratica para evitar que a situação de eutrofização da barragem se agrave.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ALBUFEIRA DE MONTE NOVO

A barragem do Monte Novo localiza-se na freguesia de S. Manços, concelho de Évora, à latitude de 38°30'40" (N) e longitude de 7°42'40" (W). Foi construída na bacia hidrográfica do rio Guadiana, mais precisamente no rio Degebe a cerca de 32 Km da nascente (Figura 1). É uma barragem de betão, do tipo gravidade, com 30 m de altura e 160 m de comprimento de coroamento. A área da bacia hidrográfica é de 267 km^2 (http://www.ccdr-a.gov.pt/).

A barragem entrou em funcionamento em 1982, tem 23 anos de vida, é explorada pelo Instituto Nacional da Água (INAG) e tem como função principal o fornecimento de água para o abastecimento público da cidade de Évora.

A albufeira tem uma capacidade total de $15{,}28 \times 10^6$ m^3 e uma capacidade útil de $14{,}78 \times 10^6$ m^3. A área inundável é de 267 ha.

Sob o ponto de vista ecológico, de acordo com os valores obtidos para o fósforo total e clorofila-*a*, nos anos de 2001, 2002 e 2003, a albufeira de Monte Novo é eutrófica. A eutrofização é atribuída, em grande parte, à libertação de nutrientes do solo submerso, à agricultura e ao pastoreio extensivo praticados na bacia de drenagem (Barbosa, 1987).

A albufeira apresenta características térmicas de lagos monomícticos quentes, pois a temperatura da água nunca atinge valores inferiores a 4°C e está sujeita a estratificação térmica durante o Verão (Wetzel, 1993).

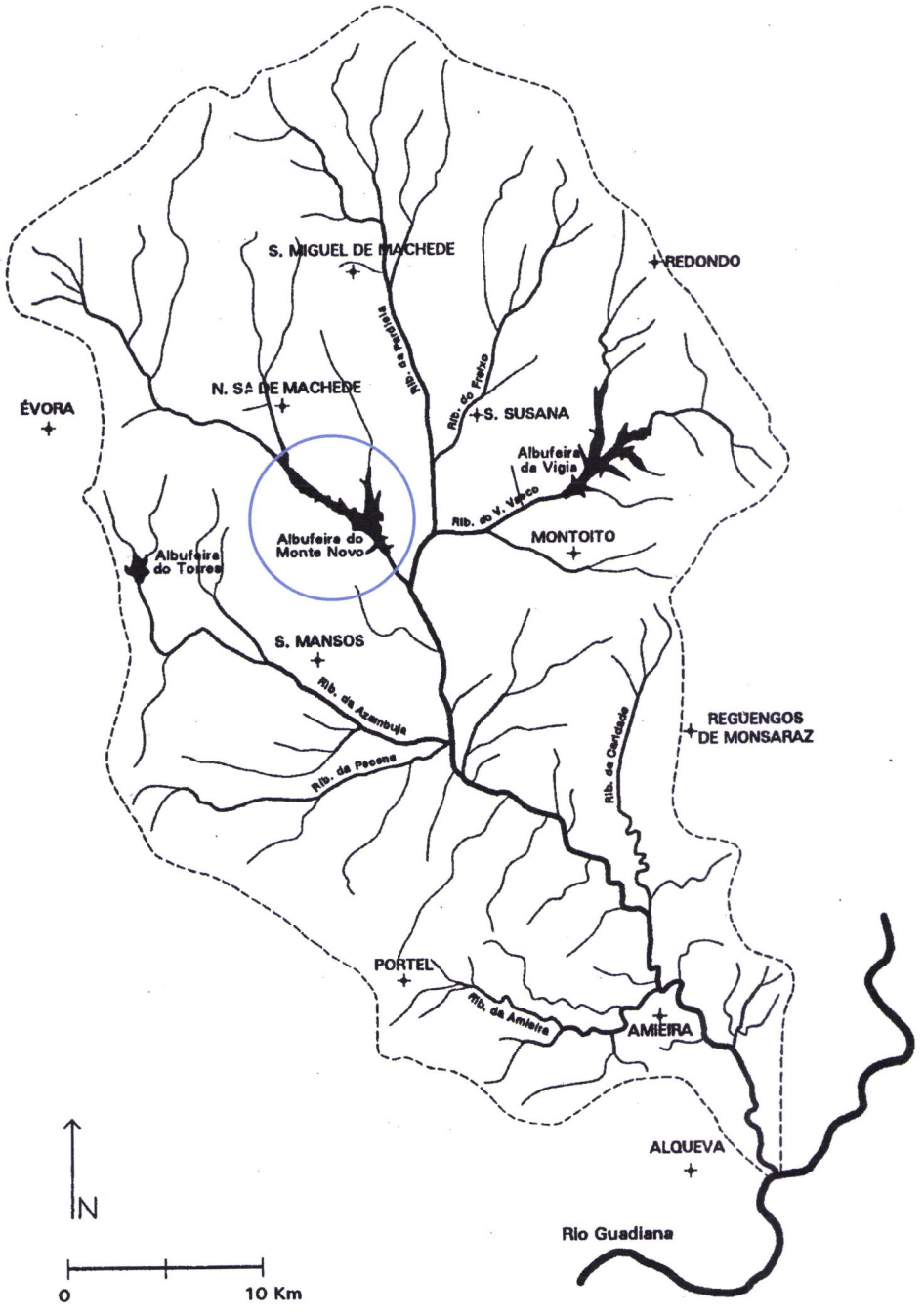
2.1 Morfologia do solo

Na bacia de drenagem da albufeira existem, fundamentalmente, formações eruptivas (granitos e quartzodioritos), metamórficas (xistos, gneisses, micaxistos) e algumas formações móveis no limite sudeste cujos materiais (areias, arcoses e grés argilosos) são facilmente carreados para a albufeira pela ribeira de Bencafate (DGRAH, 1976). A textura dos solos da rede de

drenagem da bacia é, em cerca de 60%, média e, em cerca de 40% fina (Barbosa, 1987), o que significa elevados níveis de escoamento superficial e baixa permeabilidade.

Relativamente ao relevo, quase que podemos dividir a bacia em duas partes. A metade norte da bacia, quase plana, onde o declive é inferior a 5%, e a metade sul, com relevo mais acidentado, onde os declives predominantes se situam entre 5 e 15% (Barbosa, 1987).

Os factores físicos do solo indicam que na metade sul da bacia hidrográfica o escoamento é muito rápido, sobretudo na época das chuvas, havendo grande arrastamento de todo o tipo de material para a albufeira, contribuindo para a sua rápida eutrofização e envelhecimento.



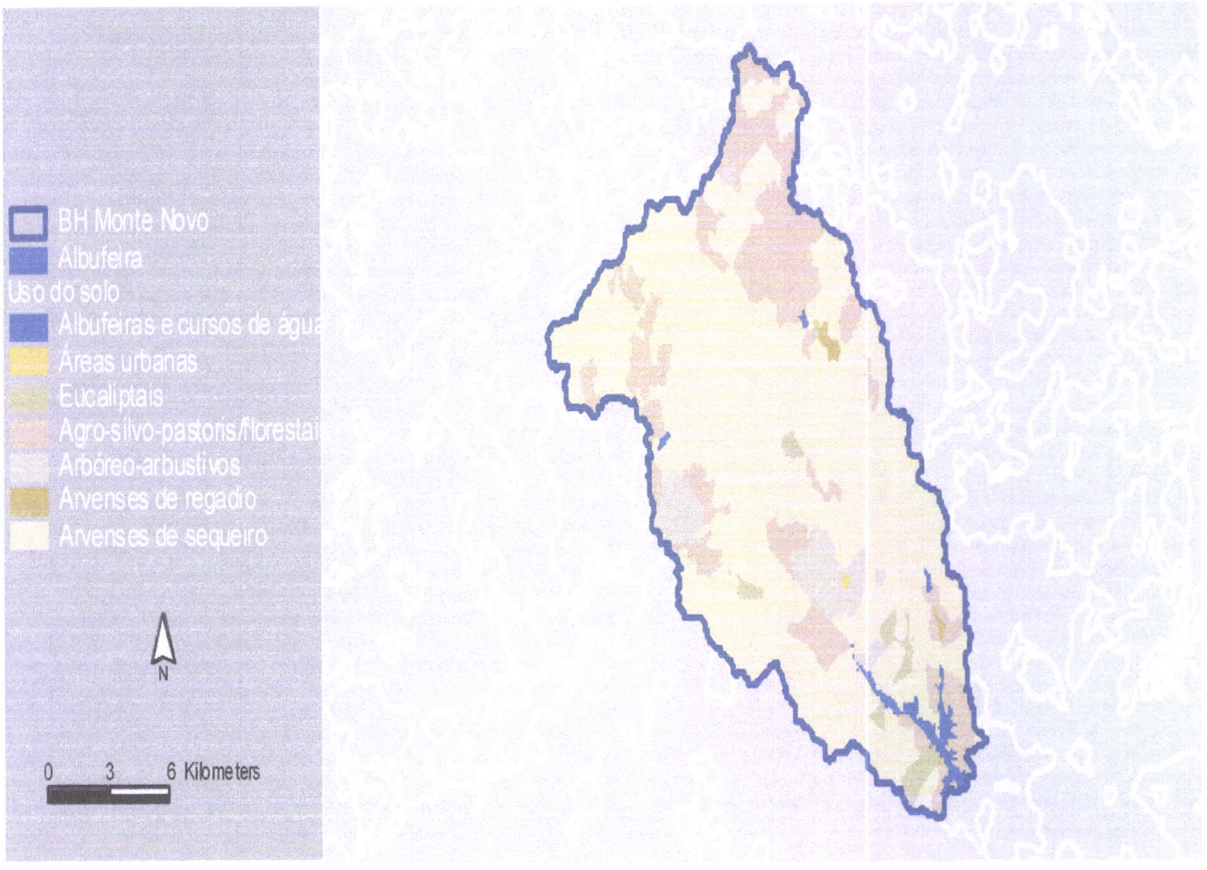
(Fonte : Morais, 1995)

FIGURA 1 - Localização da albufeira de Monte Novo

2.2 Uso do solo

O uso do solo na bacia hidrográfica da albufeira de Monte Novo é essencialmente agrícola, predominando os sistemas agrícolas extensivos de sequeiro realizados numa estrutura fundiária de grande propriedade.

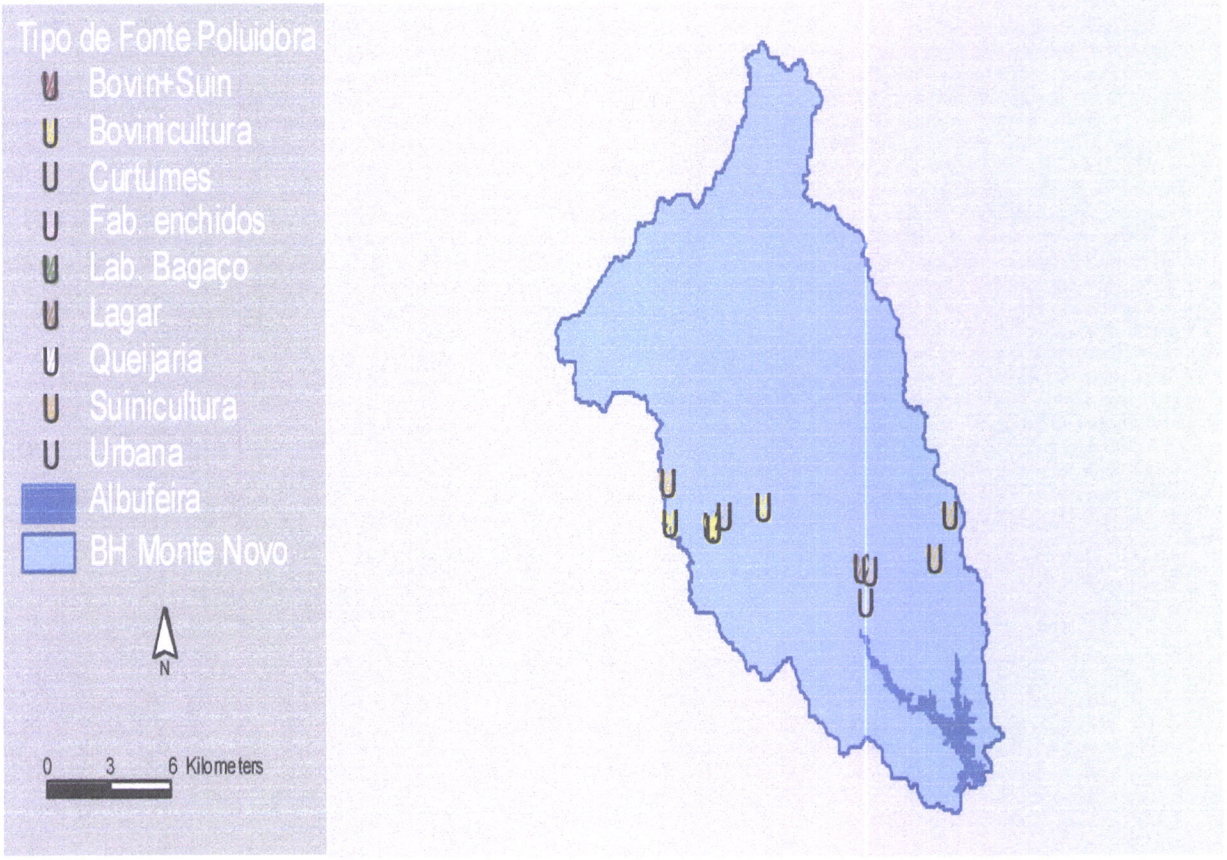
O reconhecimento do local permitiu observar, tal como é ilustrado na Figura 2, que os sistemas de agricultura predominantes são: culturas arvenses de sequeiro, eucaliptal e montado. Por outro lado, é notória a presença de animais, nomeadamente de ovinos, que pastoreiam junto da albufeira, existindo grande quantidade de excrementos nas margens.



(Fonte DRARN-A, 2004) http://www.ccdr-a.gov.pt/

FIGURA 2 - Uso do solo na bacia hidrográfica da albufeira de Monte Novo

Na bacia hidrográfica da albufeira existem ainda três suiniculturas para multiplicação e engorda e quatro boviniculturas para produção de leite (Figura 3).



(Fonte DRARN-A, 2004) http://www.ccdr-a.gov.pt/

FIGURA 3 - Fontes poluidoras da albufeira de Monte Novo

Como, pode ver-se pela Figura 3 a actividade industrial na bacia é reduzida. Na localidade de Nossa Senhora de Machede laboram uma fábrica de curtumes e um lagar de azeite, cujos impactes parecem ter sido minimizados com a instalação duma estação de tratamento de águas residuais.

Uma vez que na região predomina a actividade agro-pecuária, a poluição afluente à massa de água é fundamentalmente de tipo orgânica, embora também exista poluição mineral derivada, sobretudo, do arrastamento dos adubos.

No caso das suiniculturas e bovinículturas, como a maioria não possui tratamento para os seus efluentes, predomina o sistema de retenção para posterior espalhamento no solo. Esta prática contribui, assim, para uma

intensificação de poluição de origem difusa. Por outro lado, os fertilizantes e pesticidas utilizados na agricultura, nomeadamente nas culturas arvenses, associados às más práticas agrícolas, relacionadas, sobretudo, com métodos e épocas de mobilização do solo e com doses, fraccionamentos e épocas de aplicação de fertilizantes e pesticidas inadequadas, constituem, também, uma das principais fontes de poluição difusa da albufeira.

O enriquecimento nutritivo da massa de água, causado directa ou indirectamente por actividades humanas, provoca o aumento da produtividade biológica e alterações gerais do metabolismo aquático, contribuindo para a sua eutrofização (Ferreira, M. T., 2002). Assim, podem considerar-se as actividades agro-pecuárias, como as principais responsáveis pelo grau de eutrofia em que se encontra a albufeira de Monte Novo.

2.3 Caracterização climática

No estudo do clima, procedeu-se à caracterização do que se designou por "ano médio", tendo como base os dados disponíveis referentes a períodos mais ou menos longos e recentes.

Para cada um dos elementos climáticos estudados (precipitação e temperatura), efectuou-se a comparação entre os valores do "ano médio" e os valores relativos ao período em estudo (2001, 2002 e 2003).

A caracterização climática da área em estudo foi realizada com base em registos de 30 anos da estação meteorológica de Évora do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (I.N.M.G.), tendo também sido utilizados os dados da estação meteorológica do Divor (Departamento de Engenharia da Universidade de Évora), uma vez que, segundo Pádua (2001), o clima das duas bacias é semelhante. A distância entre a albufeira do Divor e a de Monte Novo é de aproximadamente 25,7 Km em linha recta (DRARN-A).

2.3.1 Precipitação

Com base nos dados referentes à estação meteorológica de Évora, com mais de 30 anos de registos (1951-1980), construiu-se a Figura 4.1, onde se apresenta a evolução anual da precipitação.

Neste período a precipitação total anual atingiu uma média de 642,6 mm, concentrando-se os valores mais elevados nos meses de Inverno, como é característico das regiões de influência mediterrânica.

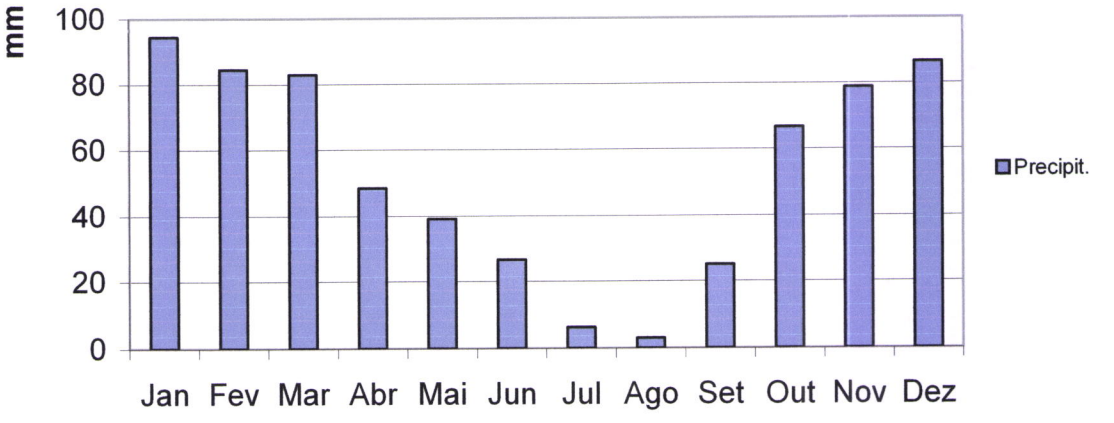


FIGURA 4.1 - Precipitação média mensal para a estação meteorológica de Évora entre 1951 e 1980.

As precipitações médias mensais (Figura 4.1) evidenciam uma grande irregularidade na distribuição ao longo do ano. A chuva concentra-se nos meses de Outubro a Abril e os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro são secos (precipitação inferior a 30 mm); Maio é um mês de transição.

Comparando as precipitações registadas nos anos de 2001, 2002 e 2003 verifica-se que 2001 apresenta, em quase todos os meses, os valores mais baixos de pluviosidade (Figura 4.2).

Durante o período de estudo observa-se que a distribuição anual da chuva é bastante irregular, tal como aconteceu no "ano médio". Por exemplo nos meses de Novembro e Dezembro de 2001 e de 2002, as diferenças ultrapassam os 100 mm, o que significa que um mês considerado bastante chuvoso num determinado ano, pode apresentar baixos níveis de precipitação noutro ano.

Nos meses de Verão observa-se uma certa regularidade em relação à secura, com excepção do mês de Setembro de 2002 em que se regista uma precipitação superior a 100 mm.

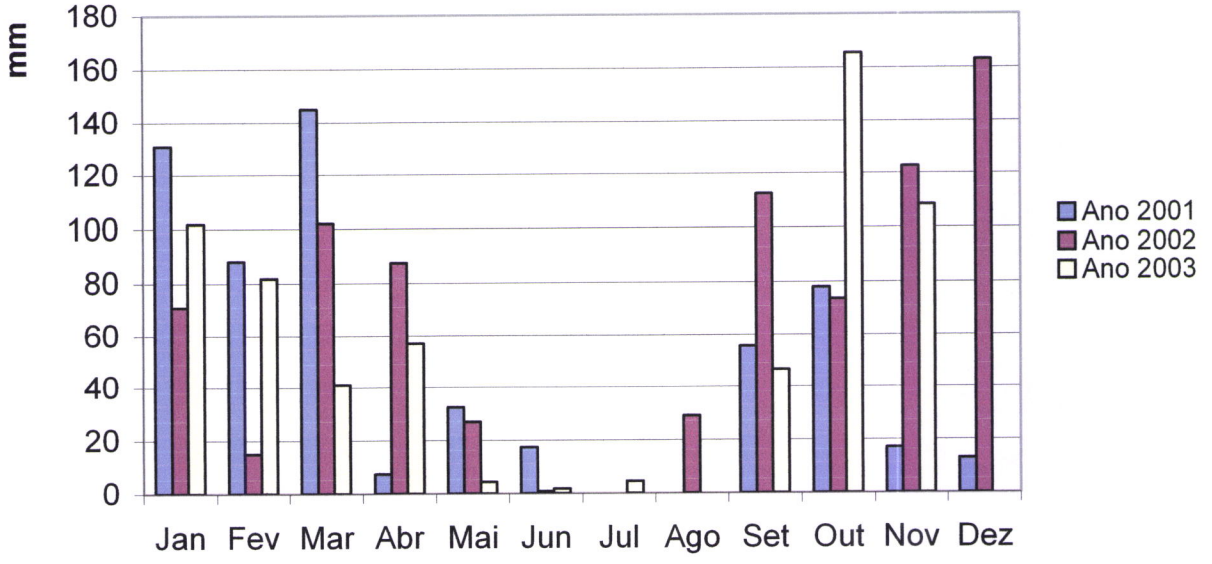


FIGURA 4.2 - Evolução anual da precipitação registada na estação meteorológica do Divor em 2001, 2002 e 2003

2.3.2 Temperatura

Observando a Figura 5.1, verifica-se que no "ano médio" as temperaturas médias mensais mais elevadas registam-se nos meses de Julho (22,8 ºC) e Agosto (23,0 ºC) e as mais baixas em Janeiro (9,3 ºC).

A amplitude térmica anual atinge um valor de 13,7 ºC.

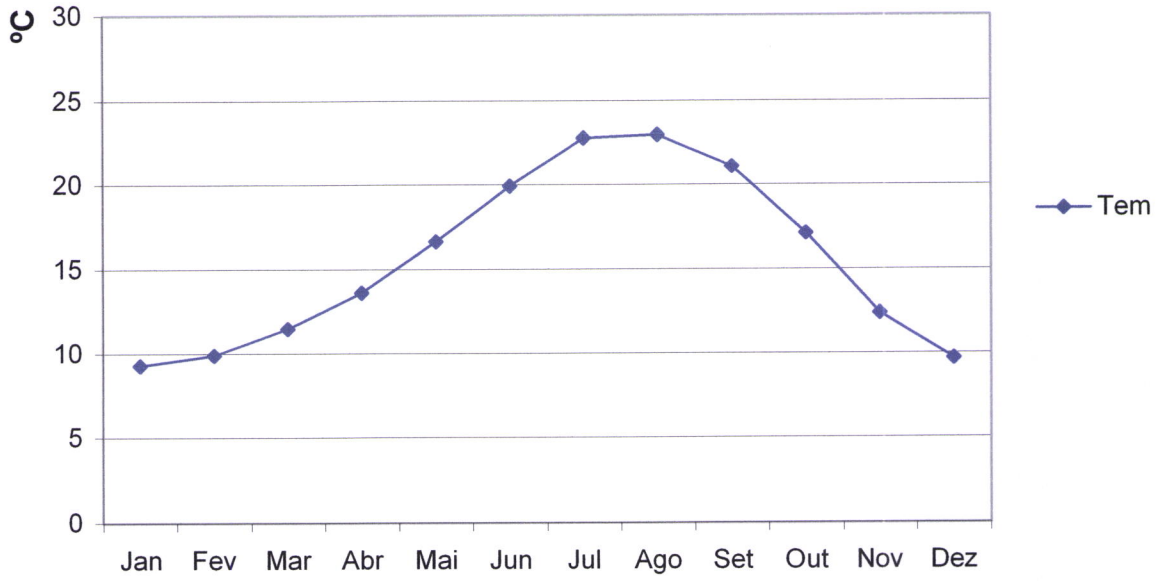


FIGURA 5.1 - Evolução da temperatura média mensal na estação meteorológica de Évora entre 1951 e 1980

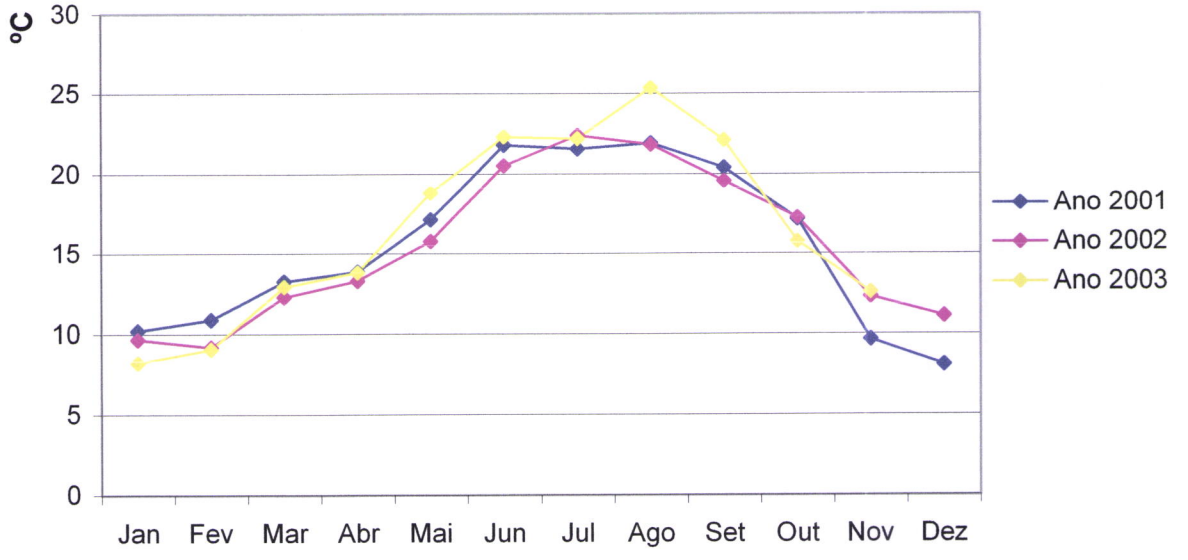


FIGURA 5.2 - Evolução anual da temperatura na estação meteorológica do Divor em 2001, 2002 e 2003

Comparando os valores das temperaturas médias mensais entre o considerado "ano médio" (Figura 5.1) e os anos de 2001, 2002 e 2003) para a região em

estudo (Figura 5.2), observa-se que as diferenças são pequenas em valor absoluto e apresentam a mesma variação anual, ou seja, as temperaturas mais elevadas observam-se em Julho e Agosto e as mais baixas em Janeiro. No ano de 2001 a temperatura mais baixa é registada em Dezembro (8,1 ºC).

2.3.3. Determinação do período seco

A extensão do período seco foi determinada pelo método de GAUSSEN através do seu diagrama termo-pluviométrico (Morais, 1995). São considerados secos os meses em que se verifica P<2T, onde:

P - representa a precipitação mensal total (mm)

T - Representa a temperatura média mensal (ºC)

O diagrama elaborado para a estação meteorológica de Évora com mais de 30 anos de registos aponta para um período seco de 4 meses, de Junho a Setembro (Figura 6.1).

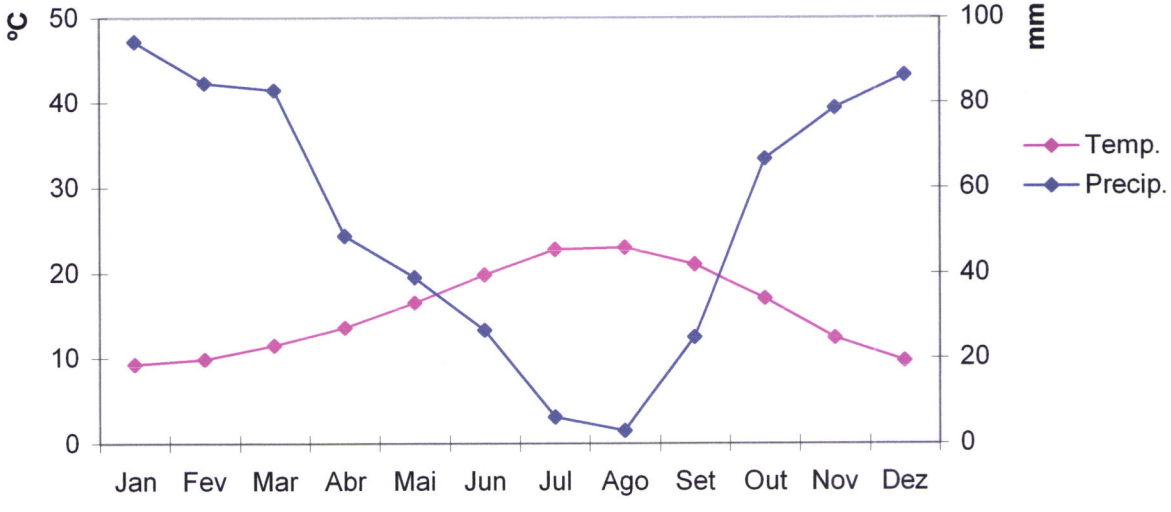


FIGURA 6.1 - Determinação do período seco para a estação meteorológica de Évora (1951-1980)

UNIVERSIDADE

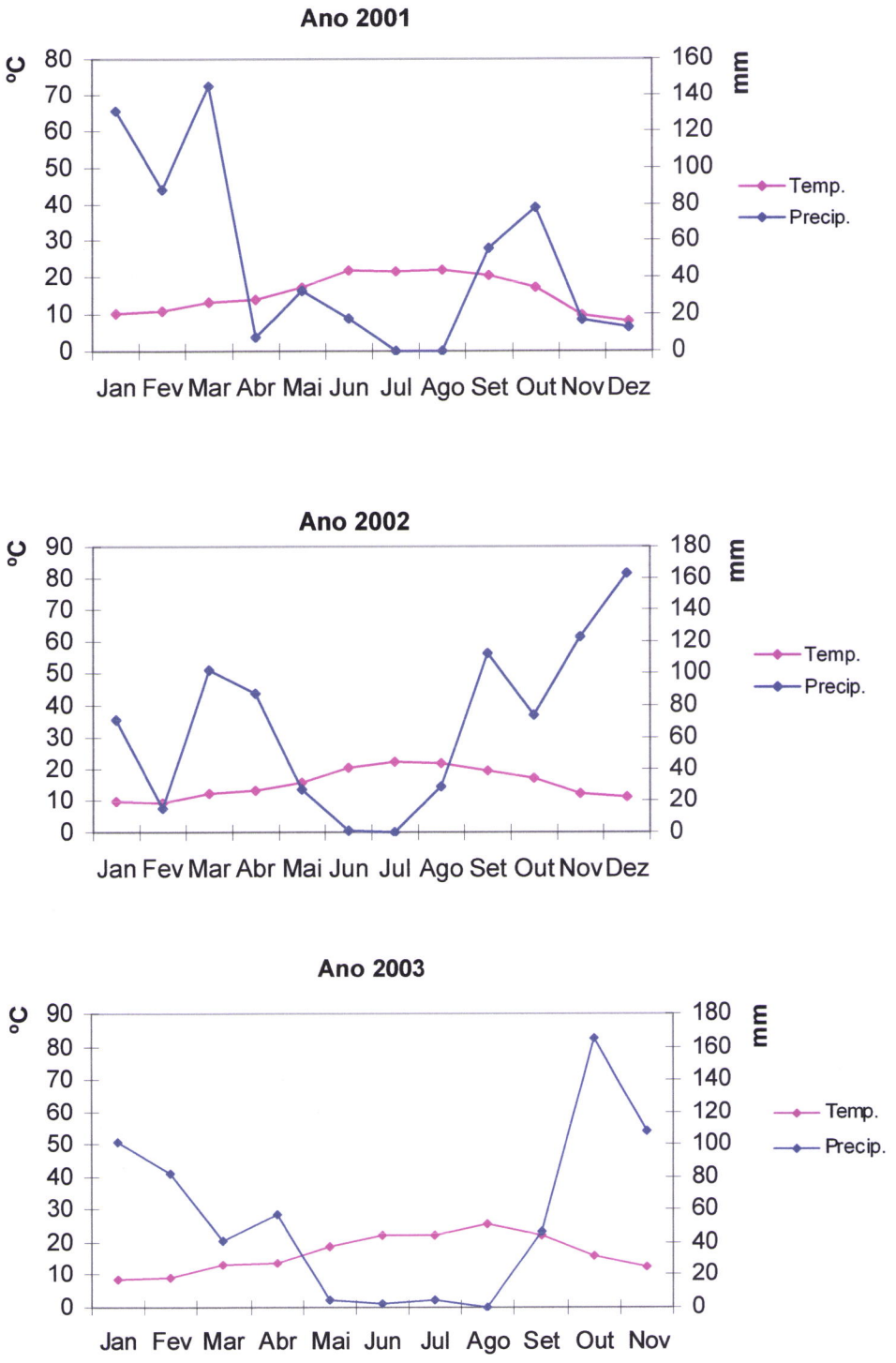


FIGURA 6.2 - Determinação do período seco para a estação meteorológica do Divor nos anos 2001, 2002 e 2003.

Comparando os diagramas elaborados para a determinação do período seco no "ano médio" (Figura 6.1) com o período de estudo, 2001, 2002 e 2003, verifica-se que existe alguma semelhança (Figura 6.2). Nos anos de 2001 e 2003 regista-se um período seco de cinco meses, respectivamente de Abril a Agosto (2001) e de Maio a Setembro (2003). Em 2002 o período seco é mais curto, 4 meses (de Maio a Agosto).

2.3.4 Classificação climática

De acordo com a classificação de Köppen clima da região é do tipo Csa, clima mediterrânico caracterizado, de um modo geral, por invernos húmidos e verões quentes e secos (Azevedo, 1971), em que, segundo Morais (1995):

C - Clima mesotérmico (ou temperado) húmido: temperatura média do mês mais frio do ano entre 0 ºC e 18 ºC;

s – Estação seca no Verão. A quantidade de precipitação no mês mais seco do semestre quente é inferior a um terço da do mês mais chuvoso do semestre frio, e inferior a 40 mm;

a – Verão quente. A temperatura média do mês mais quente do ano é superior a 22 ºC.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a origem e natureza dos dados e apresenta-se a metodologia utilizada para a análise dos mesmos.

3.1 Compilação de dados

Os dados utilizados neste trabalho foram-nos cedidos pela Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo (DRARN-A). Trata-se de uma série temporal de dados mensais referentes ao período compreendido entre Janeiro de 2001 e Novembro de 2003.

Estes dados foram obtidos na zona da captação da albufeira de Monte Novo, a três níveis de profundidade (superfície, meio e fundo), e referem-se a parâmetros, de algum modo, relacionados com a qualidade da água na região Alentejo e que caracterizam o estado trófico da albufeira.

No Quadro 1 apresentam-se os métodos analíticos seguidos nos laboratórios da Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo (DRARN-A), para a determinação de cada um dos parâmetros em estudo.

QUADRO 1 - Parâmetros e respectivas unidades de expressão dos resultados, métodos analíticos e referências bibliográficas

Parâmetros	Expressão dos resultados	Métodos analíticos	Referências
pH (25ºC)	Escala de Sorense	Electrometria	Meth.4500C.SMEWW 20th ed. Man.Met.Na. DGA, MMA/05
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	Gravimetria	Meth.2540C.SMEWW 20th ed. Man.Met.Na. DGA, MMA/07
Temperatura	ºC	Termometria	
Condutividade	µS/cm	Electrometria	Meth.2510C.SMEWW 20th ed. Man.Met.Na. DGA, MMA/01
Dureza Total	mg $CaCO_3$	Método Titrimétrico	
Cloretos	mg/L Cl	Cromatografia iónica	Standard Methods 20th Edition (1998)
Fosfatos	mg/L P_2O_5	Espectrometria de Absorção Molecular - Método do ácido ascórbico	
Fósforo Total	mg/L P	Espectrometria de Absorção Molecular – Método do ácido ascórbico	Standard Methods 20th Edition (1998) pg 4-416
Oxidabilidade	mg/L O_2	Método de Kubel	
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L O_2	Método do Dicromato de potássio	Meth.5220C.SMEWW 20th ed. Man.Met.Na. DGA, MMA/40
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5 a 20ºC)	mg/L O_2	Método Electroquímico (Incubação a 5 dias)	Meth.5210C.SMEWW 20th ed. Man.Met.Na. DGA, MMA/39
Oxigénio Dissolvido	mg/L O_2	Método Electroquímico	
Azoto de Kjeldahl	mg/L N	Métododе Nessler	
Azoto amoniacal	mg/L NH_4	Método do Indofenol	Standard Methods 20th Edition (1998) pg 4-108
Nitratos	mg/L NO_3	Cromatografia Iónica	Standard Methods 20th Edition (1998) pg 4-2
Nitritos	mg/L NO_2	Espectrometria de Absorção Molecular (Mét. da Sulfanilamida	
Clorofila *a*	mg/m^3	Espectrometria de Absorção Molecular (Extracção com acetona)	Norma Portuguesa (NP) 4327, 1996
Transparência	m	Disco de Secchi	
Coliformes totais	Nº/100 mL	Membranas filtrantes	ISO 9308-1:1990

Fonte: DRARN-A

3.2 Tratamento dos resultados

3.2.1 Análise gráfica

A análise gráfica permitiu fazer uma primeira abordagem à evolução temporal dos descritores físico químicos e biológicos.

Representaram-se graficamente os valores absolutos fundamentais, para a interpretação dos resultados obtidos e a detecção de padrões de variação, dos seguintes parâmetros: cloretos, pH, carência química de oxigénio, carência bioquímica de oxigénio, oxidabilidade, nitratos, nitritos, azoto amoniacal, azoto de Kjeldahl, fósforo total, fosfatos, clorofila-*a* e coliformes totais.

A variação vertical da temperatura e do oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água foram representados em diagramas de isolinhas efectuados no *software* de interpolação gráfica Surfer 8.0.

A análise efectuada para os sólidos suspensos totais, condutividade e dureza total, foi complementada pela representação gráfica de alguns parâmetros estatísticos, através do método "BOX-AND-WHISKER", disponível no programa SPSS 11.5 (Statistical Package for Social Sciences). Nesta forma de representação gráfica a caixa central engloba 50% das observações (situadas entre o limite inferior do quartil superior e o limite superior do quartil inferior) e a linha horizontal, dentro da caixa, representa a mediana; a linha vertical estende-se entre o valor mínimo e o máximo. Assim, com esta representação torna-se fácil detectar a presença de "outliers"[1] e verificar o comportamento assimétrico no vector dos dados, uma vez que o gráfico divide a informação em quatro áreas com frequências iguais.

3.2.2 Análise estatística

[1] Se forem C_1 e C_2 os limites superior e inferior da caixa central os "outliers" são os valores menores do que C_1-1,5(C_2-C_1) e maiores do que C_2+1,5(C_2-C_1).

No estudo da correlação entre as variáveis foi usado o coeficiente de correlação linear de Pearson, julgado como significativo para o valor crítico de $p<0,01$, como medida de associação entre duas variáveis.

Na análise dos dados foi utilizada, a análise de Regressão Linear Múltipla e a análise Multivariada (Análise em Componentes Principais).

Sem pretender entrar na explicação dos algoritmos matemáticos que estes métodos de análise utilizam, apresenta-se, contudo, uma síntese do que se pretende com cada uma destas técnicas.

Regressão Linear Múltipla

Com a Regressão Linear Múltipla pretende-se explicar a variabilidade de uma variável a que, normalmente, se chama dependente ou endógena e que se costuma representar por Y, através da variabilidade de outras variáveis ditas independentes, explicativas ou exógenas e que habitualmente se representam por X_1, X_2.....X_k. Admite-se, assim, a existência de uma relação de causa-efeito, isto é, assume-se que a variação de uma ou mais das variáveis independentes provoca variação na variável dependente. Matematicamente a relação causa-efeito, entre as variáveis dependente e independentes, pode ser representada por uma relação do tipo:

$$Y = f(X_1, X_2 \ldots\ldots\ldots\ldots, X_k),$$

mais concretamente, tratando-se de um modelo linear nas variáveis, a relação entre aquelas variáveis pode ser expressa por,

$$Y_i=\beta_0+\beta_1X_{1i}+\beta_2X_{2i}+\ldots\ldots\ldots+\beta_kX_{ki}+\varepsilon_i, \qquad i=1,2....n$$ (n é o numero de observações)

onde Y_i é o valor que a variável dependente toma na observação de ordem i e X_{1i} , X_{2i}.....X_{ki} os valores correspondentes das variáveis independentes, e ε_i uma variável aleatória que se assume normalmente distribuída com média igual

a zero e variância constante e igual a σ^2 (Pinheiro e Galego, 1999; Griffiths *et al.*, 1993).

O método utilizado para estimar os parâmetros β foi o Método dos Mínimos Quadrados Ordinário. Por este método estimam-se os parâmetros β de modo a minimizar a soma dos quadrados da diferença entre os valores da variável dependente observados e os estimados pelo modelo. Isto é, minimiza-se a quantidade $\sum (Y_{obs} - Y_{est})^2$ o que é o mesmo que minimizar a soma dos quadrados dos erros $\sum e^2$, sendo *e* a diferença entre os valores de Y observados e estimados.

Quando se parte de um dado modelo e se quer testar a influência de cada uma das variáveis independentes trabalha-se com um número concreto e definido de variáveis independentes ou explicativas, o que não é o caso em análise. Neste estudo, pretende-se conhecer a influência de um conjunto de variáveis independentes (variáveis físico-químicas) sobre uma dada variável biológica. Assim, utilizou-se uma técnica conhecida por "Stepwise Regression", a fim de seleccionar, do conjunto das variáveis tomadas como potencialmente explicativas, aquelas que, com base nos dados recolhidos, revelam ser estatisticamente significativas na explicação da variância da variável dependente. Nesta técnica desenvolve-se uma sequência de modelos de regressão, acrescentando ou eliminando em cada passo uma variável. O critério seguido para acrescentar ou eliminar variáveis ao modelo pode ser a estatística F (Pinheiro e Galego, 1999). Para além deste, há outros procedimentos para seleccionar as variáveis, entre os quais se destacam a eliminação (*backward*) e a selecção (*forward*). No primeiro procedimento (*backward*), ajusta-se o modelo com todas as variáveis independentes e vão-se eliminando, sucessivamente, aquelas cuja contribuição para a explicação da soma de quadrados da variável dependente não for significativa ao nível desejado. De cada vez que se elimina uma variável volta a ajustar-se o modelo pelo método dos mínimos quadrados, terminando o processo quando as variáveis que restam, no modelo, forem todas significativas ao nível desejado. No segundo procedimento (*forward*), começa-se por introduzir no modelo a

variável independente que provar contribuir mais para a explicação da soma de quadrados da variável dependente. Este processo progride adicionando ao modelo, das restantes variáveis, aquela que mais contribuir para explicar a soma de quadrados dos desvios para a média da variável dependente. O processo termina quando não houver nenhuma variável, das que estão fora do modelo, que consiga contribuir de forma significativa para a explicação da soma de quadrados da variável dependente.

Na albufeira de Monte Novo, para seleccionar de entre o conjunto inicial de descritores físico-químicos aqueles que na realidade têm uma influência significativa sobre os descritores biológicos (coliformes totais e clorofila-*a*), foi utilizado um modelo de Regressão Linear Múltipla "Stepwise" e seguiu-se o método de selecção progressiva (*forward),* considerando-se como significativas as variáveis cuja probabilidade do coeficiente de regressão, que lhe corresponde, ser nulo seja menor ou igual a 5%.

Análise multivariada

A Análise em Componentes Principais (ACP) envolve um procedimento matemático que transforma um grande número de variáveis, num pequeno número de variáveis não correlacionadas entre si e chamadas de eixos ou componentes principais. A primeira componente principal explica o máximo da variabilidade dos dados que for capaz de explicar. Cada uma das componentes sucessivas vai explicar o máximo da variabilidade ainda não explicada (Reis, 1997).

Em geral, a ACP é feita partindo da matriz da soma de quadrados dos dados a analisar, ou da matriz da covariância dos mesmos dados, ou da respectiva matriz da correlação, sendo usual neste caso chamar-se Análise em Componentes Principais Normada. Os resultados da análise da matriz da soma de quadrados e produtos cruzados e da covariância não diferem uns dos outros, dado que tanto uma como a outra matriz apenas diferem por um factor de escala. Normalmente usa-se a matriz das correlações para a análise quando as variáveis em estudo têm variâncias que diferem muito umas das

outras, ou quando essas variáveis têm unidades de medida diferentes umas das outras.

A técnica de Análise em Componentes Principais assenta em dois objectivos principais: reduzir a dimensão da matriz dos dados iniciais e identificar novas variáveis subjacentes aos dados.

Sucintamente pode dizer-se que a técnica matemática usada na ACP parte de uma matriz simétrica A (matriz da soma de quadrados e produtos cruzados, da covariância ou da correlação) e pretende obter uma matriz Q chamada de matriz dos vectores próprios ou "eigenvectors" tal que AxQ = QxL, sendo L a matriz diagonal dos valores próprios ou "eigenvalues". Esta equação pode resolver-se à mão, porém, quando se tem uma matriz com grande dimensão convém recorrer a *software* específico.

A soma dos valores próprios é igual ao número de varáveis (número de colunas da matriz de correlação A). O valor de cada valor próprio dividido por aquela soma (p) representa a percentagem da variabilidade total dos dados que o eixo ou a componente principal, a que diz respeito, é capaz de explicar. Por exemplo, se a soma dos valores próprios for igual a 10 e o primeiro e o segundo valores próprios[2] forem, respectivamente, 4 e 2 isto significa que o primeiro eixo ou a primeira componente principal explica 40% da variabilidade total dos dados e o segundo eixo ou a segunda componente principal explica 20% da variabilidade total dos dados. Assim sendo, uma representação plana construída com base naqueles dois eixos ou componentes principais terá uma capacidade explicativa de 60% da variabilidade total dos dados.

Na análise dos dados torna-se necessário determinar qual o numero de eixos ou componentes principais que deve ser considerado. Não havendo nenhuma regra que permita, à *priori,* fixar esse número podem-se, contudo, indicar procedimentos baseados nas relações entre os valores próprios. Assim, um dos procedimentos pode ser o de não considerar os eixos ou componentes

[2] A ordenação é feita em função da sua magnitude.

principais cujo valor próprio que lhe corresponde não explique pelo menos uma determinada percentagem da variabilidade dos dados (por exemplo 5%). Outro procedimento pode basear-se na representação gráfica dos valores próprios e ver, no gráfico, os pontos a partir dos quais os valores próprios se tornam paralelos ao eixo, o que quer dizer que estes valores são, normalmente, próximos de zero e, portanto, podem ser ignorados. Outra regra, também muito utilizada, é a de considerar apenas os eixos ou componentes principais cujos valores próprios sejam superiores a 1.

3.2.3 Avaliação da qualidade da água

Na avaliação da qualidade da água da albufeira destinada à produção de água para consumo humano, aceita-se a classificação feita pela DRARN-A, em que o critério utilizado se baseia na classificação de todos os parâmetros, de acordo com as normas de qualidade definidas pelo INAG e pelas DRAOT, para efeitos de aplicação do estabelecido no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (Quadro 2). Considerando-se a classificação global da água, como sendo a do parâmetro mais desfavorável (DRARN-A, http://www.ccdr-a.gov.pt/)

.

Consoante a sua qualidade, as águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano são classificadas nas categorias A1, A2 e A3 (Anexo I do D.L. n.º 236/98), a que correspondem esquemas de tratamento distintos, para as tornar aptas para o consumo humano. Assim, uma água classificada de A1 será sujeita a tratamento físico e desinfecção; uma classificada de A2 terá tratamento físico, químico e desinfecção; e, uma classificada de A3 sofrerá tratamento físico, químico, de afinação e desinfecção (Anexo II, D.L. n.º 236/98).

QUADRO 2 - Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (Anexo I do D.L. nº236/98, de 1 Agosto)

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH, 25ºC	Escala de Sorense	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5-9,0	-
Cor (após filtação simples)	mg/l, escala *Pt-Co*	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos Suspensos Totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	ºC	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	MS/cm, 20ºC	1000	-	1000	-	1000	-
Cheiro	Factor de diluição a 25ºC	3	-	10	-	20	-
Nitratos *	mg/l NO_3	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Fluoretos ([1])	mg/l *F*	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Cloro orgânico total extraível	mg/l *Cl*	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*)	mg/l *Fe*	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês (*)	mg/l *Mn*	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l *Cu*	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l *Zn*	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l *B*	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l *Be*	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l *Co*	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l *Ni*	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l *Va*	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l *As*	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/l *Cd*	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/l *Cr*	-	0,05	-	0,05	-	0,05

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
Chumbo	mg/l *Pb*	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/L *Se*	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercúrio	mg/l Hg	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010	0.0005	0,0010
Bário	mg/l *Ba*	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l *CN*	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l SO_4	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/l *Cl*	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensioactivas (que reagem com o azul de metileno)	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/l P_2O_5	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C_6H_5OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratião, hexaclorociclo-hexano, dieldrina e outros)	µg/l	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigénio (CQO) (*)	mg/l O_2	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% Sat. de O_2	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio (CBO_5, 20ºC) (*)	mg/l O_2	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO_2 e NO_3)	mg/l *N*	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH_4	0,05	-	1,00	1,50	2,00	(O) 4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l *C*	-	-	-	-	-	-
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm)	mg/l *C*	-	-	-	-	-	-
Coliformas totais	/100 ml	50	-	5 000	-	50 000	-
Coliformes fecais	/100 ml	20	-	2 000	-	20 000	-
Estreptococos fecais	/100 ml	20	-	1 000	-	10 000	-
Salmonelas		Ausência em 5 000 ml	-	Ausência em 1 000 ml	-	-	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (nº1 do artigo 10º).
(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.
(1) Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.
(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.
(3) Refere-se a um VMR..

VMR – valor máximo recomendado
VMA – valor máximo admissível

Complementarmente, apresenta-se a classificação qualitativa da água da albufeira, de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos, segundo o critério de classificação desenvolvido e proposto pelo INAG. A classificação é feita parâmetro a parâmetro, sendo considerados 14 parâmetros, e 5 classes de qualidade (A, B, C, D, E). A inclusão do parâmetro numa determinada classe é determinada pelo segundo valor mais desfavorável, e a classificação global é igualmente a do segundo valor mais desfavorável (DRARN-A, http://www.ccdr-a.gov.pt/)

No Quadro 3 apresentam-se as 5 classes (A, B, C, D, E), e as suas características em termos de qualidade e potenciais usos.

No Quadro 4 estão indicados os 14 parâmetros considerados na grelha de classificação da água para usos múltiplos, assim como os limites inferior e superior correspondentes a cada uma das 5 classes de qualidade.

QUADRO 3. Classes de qualidade da água, suas características e potenciais usos

CLASSES	NÍVEL DE QUALIDADE
A Sem poluição	Águas consideradas como isentas de poluição, aptas a satisfazer potencialmente as utilizações mais exigentes em termos de qualidade.
B Fracamente poluído	Águas com qualidade ligeiramente inferior à classe A, mas podendo também satisfazer potencialmente todas as utilizações.
C Poluído	Águas com qualidade "aceitável", suficiente para irrigação, para usos industriais e produção de água potável após tratamento rigoroso. Permite a existência de vida piscícola, (espécies menos exigentes mas com reprodução aleatória). Apta para recreio sem contacto directo.
D Muito poluído	Águas com qualidade "medíocre", apenas potencialmente aptas para irrigação, arrefecimento e navegação. A vida piscícola pode subsistir, mas de forma aleatória.
E Extremamente poluído	Águas ultrapassando o valor máximo da classe D para um ou mais parâmetros. São consideradas como inadequadas para a maioria dos usos e podem ser uma ameaça para a saúde pública e ambiental.

Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/)

QUADRO 4 - Parâmetros considerados na classificação da qualidade das águas superficiais para usos múltiplos, e respectivos limites

Parâmetro	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E
pH	6,5-8,5		6,0-9,0	5,5-9,5	
Temperatura (ºC)	≤20	21-25	26-28	29-30	>30
Condutividade (µS/cm)	≤750	751-1000	1001-1500	1501-3000	>3000
SST (mg/L)	≤25,0	25,1-30,0	30,1-40,0	40,1-80,0	>80,0
Oxigénio dissolvido (% sat))	≥90	89-70	69-50	49-30	<30
Oxidabilidade (mg O_2/L)	≤3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	10,1-25,0	>25
CBO_5 (mg O_2/L)	≤3,0	3,1-5,0	5,1-8,0	8,1-20,0	>20,0
CQO (mg O_2/L)	≤10,0	10,1-20,0	20,1-40,0	40,1-80,0	≥80,0
Azoto amoniacal (mg NH_4/L)	≤0,1	0,11-1,00	1,10-2,00	2,01-5,00	>5,00
Nitratos (mg NO_3/L)	≤5,0	5,0-25,0	25,1-50,0	50,1-80,0	>80,0
Azoto de Kjeldahl (mg N/L)	≤0,5	0,51-1,00	1,01-2,00	2,01-3,00	>3,00
Fosfatos (mg P_2O_5/L))	<0,54		<0,94	>0,94	
Coliformes totais (Nº/100 ml)	≤50	50-5000	5001-50000	>50000	
Coliformes fecais (Nº/100 ml)	≤20	21-2000	2001-20000	>20000	-

Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/)

3.2.4 Avaliação do estado trófico

A avaliação do estado trófico da albufeira do Monte Novo é feita segundo a grelha de classificação proposta pelo INAG, em que são considerados três estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico (Quadro 5). Os parâmetros de classificação utilizados são o fósforo total, a clorofila-*a* e o oxigénio dissolvido (% sat.).

Foi feita a avaliação temporal do estado trófico da albufeira utilizando os dados mensais de amostras colhidas à superfície da massa de água. Para a classificação anual do estado trófico da albufeira usaram-se as médias geométricas dos valores mensais e aplicou-se a referida grelha de classificação.

QUADRO 5 - Grelha de classificação do estado trófico proposta pelo INAG

	Oligotrófico (O)	**Mesotrófico (M)**	**Eutrófico (E)**
Fósforo total (mg /m^3 P)	<10	10 – 35	>35
Clorofila *a* (mg/m^3)	<2,5	2,5 – 10	>10
Oxigénio Dissolvido (% sat.)			<40

Nota: Os valores correspondem a médias geométricas;
Conformidade: A classe atribuída corresponde ao valor mais desfavorável.
Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/)

Como o estado trófico de uma albufeira pode variar de ano para ano, fez-se a classificação inter-anual, aplicando a grelha de classificação aos resultados

obtidos em cada um dos três anos (2001, 2002 e 2003) de modo a permitir avaliar a evolução do estado trófico da albufeira durante o período de estudo.

4. RESULTADOS E SUA ANÁLISE

4.1 Estratificação sazonal e sua dinâmica

4.1.1 Temperatura

Em massas de água superficiais, a temperatura da água está dependente da temperatura do ar.

O espectro térmico de uma massa de água lêntica e as suas variações sazonais influenciam a distribuição das comunidades biológicos aí existentes e respectivo funcionamento ecológico. Um dos aspectos mais importantes da ecologia lêntica é a estruturação vertical das suas comunidades biológicas, que é função de processos físicos e químicos que ocorrem na massa de água (Ferreira, 2001 a).

Os principais factores responsáveis pelo processo de estratificação actuam na interface ar/água, como o vento e a radiação solar. A amplitude e o efeito destes factores dependem da intensidade dos mesmos e da morfometria da albufeira. Uma maior área superficial possibilita um aumento de energia cinética, o que promove a circulação (Pádua, 2001). Pelo contrário, o aumento da profundidade disponibiliza menos energia por unidade de volume, favorecendo o processo de estratificação térmica (Ford, 1990).

O perfil vertical da temperatura na coluna de água varia com as estações do ano. Esta variação de temperatura depende da densidade da água, que por sua vez vai condicionar a capacidade de mistura e a estratificação da massa de água.

Durante a Primavera o aumento da temperatura do ar provoca um aquecimento rápido da água superficial não imediatamente distribuído ao longo da coluna de água. Este aumento de temperatura leva a que, a densidade da água superficial se torne inferior à densidade da camada do fundo, formando-se na coluna de água três camadas com características distintas: uma camada

superior mais quente, menos densa, uniformemente aquecida, chamada epilímnio; uma camada inferior mais fria, mais densa, chamada hipolímnio; e uma zona intermédia de forte descontinuidade térmica, chamada metalímnio, onde se inclui a faixa a que ocorre a taxa máxima de descida de temperatura e que se designa por termoclina (Ferreira, 2002).

No período frio, há um arrefecimento da camada superficial da albufeira, provocando uma certa homogeneização da temperatura ao longo da coluna de água. Com a homogeneização da temperatura, reduzem-se as diferenças entre as densidades. A água à superfície subitamente arrefecida vai sendo misturada por correntes de convexão. A sua deslocação para o fundo provoca uma erosão progressiva do metalímnio até todo o volume de água estar incluído na *circulação outonal*; neste momento a coluna de água apresenta a mesma temperatura (Ferreira, 2002), provocando um completo revolvimento da massa de água.

A Figura 7 ilustra a distribuição térmica que ocorre na albufeira de Monte Novo. No ano de 2001 a estratificação começa em Maio (com uma amplitude de 9,9ºC entre a superfície e os 9 metros de profundidade) e estende-se até Agosto (último mês em que se observa termoclina). Em 2002 a estratificação tem início em Abril (com uma amplitude térmica de 8,3 ºC entre a superfície e os 9 metros de profundidade) e estende-se até Agosto (último mês em que se observa termoclina). Em 2003 a estratificação inicia-se em Maio (com uma amplitude térmica de 5,5 ºC entre a superfície e os 8 metros de profundidade e estende-se até Junho (último mês em que se observa termoclina). Entre Setembro e Fevereiro, período sem estratificação, a coluna de água apresenta, em média, uma amplitude térmica de apenas 0,9 ºC (em 2002) e 0,7 ºC (em 2003).

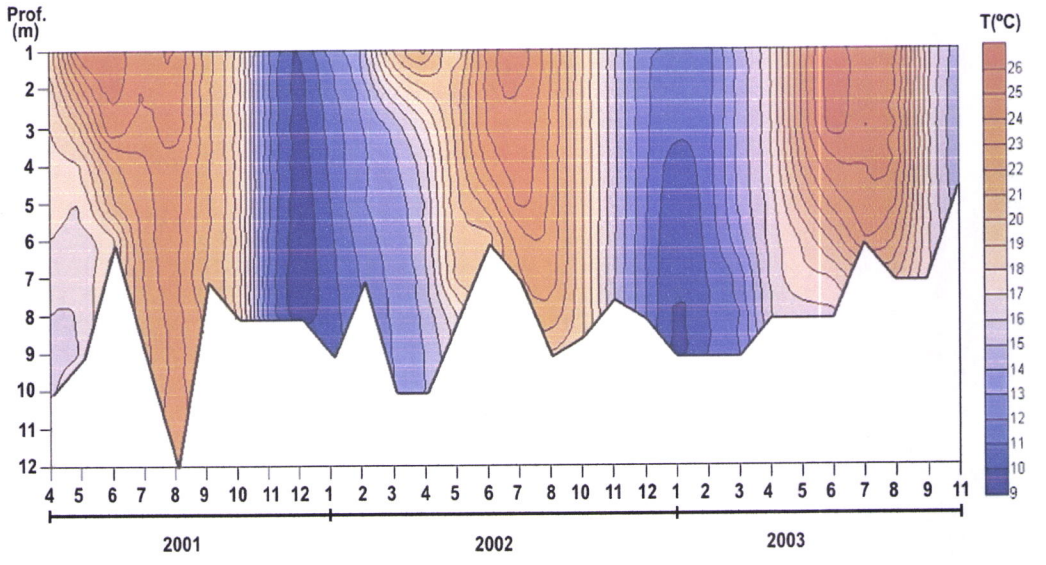


FIGURA 7 - Isolinhas de Temperatura (°C), mostrando a distribuição em profundidade (m) de Abril de 2001 a Novembro de 2003, na albufeira de Monte Novo

4.1.2 Oxigénio dissolvido

O oxigénio dissolvido (OD) é necessário para a respiração da maior parte dos organismos consumidores, como os peixes e invertebrados e é produzido por organismos fotossintéticos, que são as algas e as plantas aquáticas (Ferreira, 2001 a).

A dinâmica da distribuição do oxigénio é determinada por um equilíbrio entre as entradas a partir da atmosfera e da fotossíntese e as perdas devidas às oxidações químicas e biológicas (Wetzel, 1993).

Em massas de água oligotróficas (reduzida concentração de nutrientes) durante a estratificação térmica, a produção primária no epilímnio é relativamente baixa. Este material biológico sedimenta e decompõe-se em profundidade, no hipolímnio, retornando os elementos ao meio ambiente na forma inorgânica (Morais *et al.*, 2003).

Nas massas de água com elevado teor de nutrientes, a produção primária no epilímnio é muito elevada, o que conduz a elevados níveis de oxigénio. O material biológico vai sedimentar nas camadas profundas hipolimnéticas. O processo de decomposição deste material progride até ao esgotamento do oxigénio dissolvido, observando-se em seguida unicamente sedimentação e acumulação de matéria orgânica, que só será decomposta numa fase posterior de mistura quando o oxigénio dissolvido atingir o fundo.

Na albufeira de Monte Novo os valores de oxigénio na coluna de água mostram um período de perfil clinogrado[1], coincidente com o período de estratificação térmica, e outro em que os teores de oxigénio são homogéneos, que coincide com o período de mistura.

Observando a Figura 8 verifica-se que, durante e o período de estratificação, que ocorre no Verão, os teores de oxigénio no hipolimnio e parte do metalimnio se esgotam rapidamente observando-se em Junho e Agosto de 2001 concentrações de oxigénio inferiores a 0,08 mg/L abaixo dos 5 metros. Em 2002, registam-se valores de OD inferiores a 0.04mg/L e a 0,08 mg/L abaixo dos 6 metros, respectivamente em Junho e Julho. No ano de 2003, abaixo dos 6 metros de profundidade, surgem concentrações de oxigénio inferiores a 0,3 mg/L, 0,04 mg/L e 0,05 mg/L, respectivamente nos meses de Maio, Junho e Agosto.

No período de mistura que coincide com o Outono e Inverno, a concentração de oxigénio nas camadas mais profundas da albufeira é elevada e os valores observados não são muito diferentes dos registados à superfície. No ano de 2001 nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro as concentrações de oxigénio à superfície e a 9 m de profundidade são, respectivamente, 6,28 mg/L e 5,00 mg/L (Outubro); 8,63 mg/L e 7,07 mg/L (Novembro) e 8,54 mg/L e 8,36 mg/L (Dezembro). Em 2002, nos meses de Outubro e Dezembro os teores de oxigénio à superfície e à profundidade de 7 m são, respectivamente, 6,84 mg/L e 5,57 mg/L (Outubro) e 7,94 mg/L e 7,65 mg/L (Dezembro). É interessante

[1] Perfil de oxigénio dissolvido, típico de sistemas lênticos eutróficos, com um *hipolimnion* anaeróbico durante o período de estratificação (Pádua, 2001).

notar que, no mês de Novembro do mesmo ano, apesar de a concentração de oxigénio à superfície ser baixa (3,80 mg/L) à profundidade de 7 m regista-se um valor ligeiramente superior (3,95 mg/L). No ano de 2003 nos meses de Janeiro, Fevereiro e Setembro, os valores de oxigénio à superfície e a 7 m de profundidade são, respectivamente, 8,06 mg/L e 7,15 mg/L (Janeiro); 9,12 mg/L e 10,13 mg/L (Fevereiro) e 6,34 mg/L e 6,38 mg/L (Setembro). No mês de Novembro só se dispõe de registos de oxigénio até 4,5 m de profundidade. Os valores observados são 7,84 mg/L à superfície e 7,61 mg/L à profundidade de 4,5m.

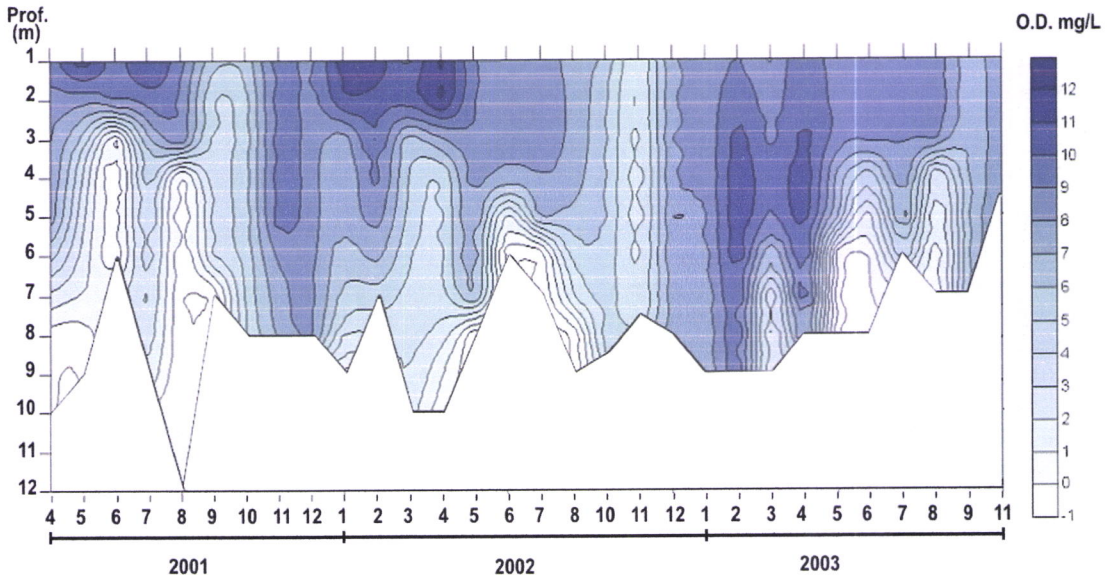


FIGURA 8 - Isolinhas de Oxigénio dissolvido (O_2 mg/L), mostrando a distribuição em profundidade de Abril de 2001 e Novembro de 2003, na albufeira de Monte Novo

Nos lagos de águas quentes a desoxigenação das camadas inferiores do metalímnio e do hipolimnio é um fenómeno corrente (Golterman, 1975). A situação de anóxia que se observa na albufeira de Monte Novo sugere a existência de teores consideráveis de matéria orgânica sujeita a processos de oxidação bacteriológica, que se intensificam com o aumento da temperatura (Wetzel, 1993).

4.1.3 pH

O pH das águas naturais é, em grande parte, condicionado pela interacção dos iões H^+ com as reacções de dissociação e de hidrólise do sistema tamponizante constituído por $CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-}$ (Stumm *et al.*, 1996).

Em grande parte dos sistemas lênticos os valores do pH situam-se entre 6 e 9 (Horne e Goldman, 1994). Na albufeira de Monte Novo os valores registados situam-se neste intervalo (Figura 9).

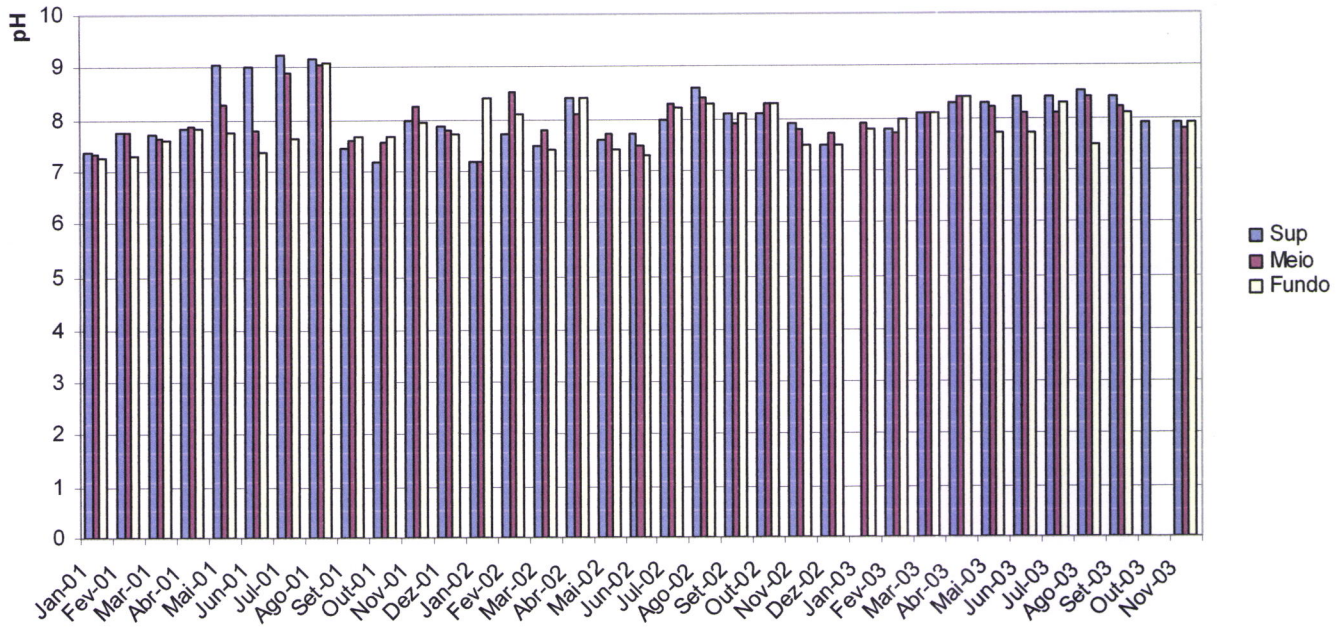


FIGURA 9 - Variação do pH na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Os valores mais elevados do pH registaram-se no Verão (à superfície), estação de maior insolação, e podem estar associados ao consumo de CO_2 na fotossíntese. No ano de 2001 o valor mais elevado (9,23) registou-se em Julho à superfície. Em 2002 o valor mais elevado (8,6) observou-se no mês de Agosto à superfície, e em 2003 o valor mais elevado (8,5) registou-se em Agosto também à superfície.

Os valores mais reduzidos de pH observaram-se no Outono e Inverno. No ano de 2001 o valor mais reduzido (7,17) registou-se em Outubro à superfície. Em 2002 o mais reduzido (7,2) observou-se em Janeiro à superfície e a meia profundidade. No ano de 2003 o valor mais reduzido (7,5) surgiu em Agosto na amostragem do fundo, o que poderá ser justificado pela presença do CO_2 nas camadas anóxicas mais profundas.

A variação do pH que ocorre na albufeira de Monte Novo poderá ser explicada pela interacção entre diferentes mecanismos, como, a formação da estratificação térmica, com a deplecção de oxigénio no hipolímnio e produção de CO_2 resultante da actividade microbiana. Após a destruição da estratificação térmica, as concentrações elevadas de CO_2 das camadas mais profundas irão provocar uma descida dos valores do pH da coluna de água, durante a fase de mistura (Pádua, 2001).

4.1.4 Transparência (profundidade do disco de *Secchi*)

A transparência da água, medida pela profundidade do disco de *Secchi*, na albufeira de Monte Novo, é apresentada na Figura 10.

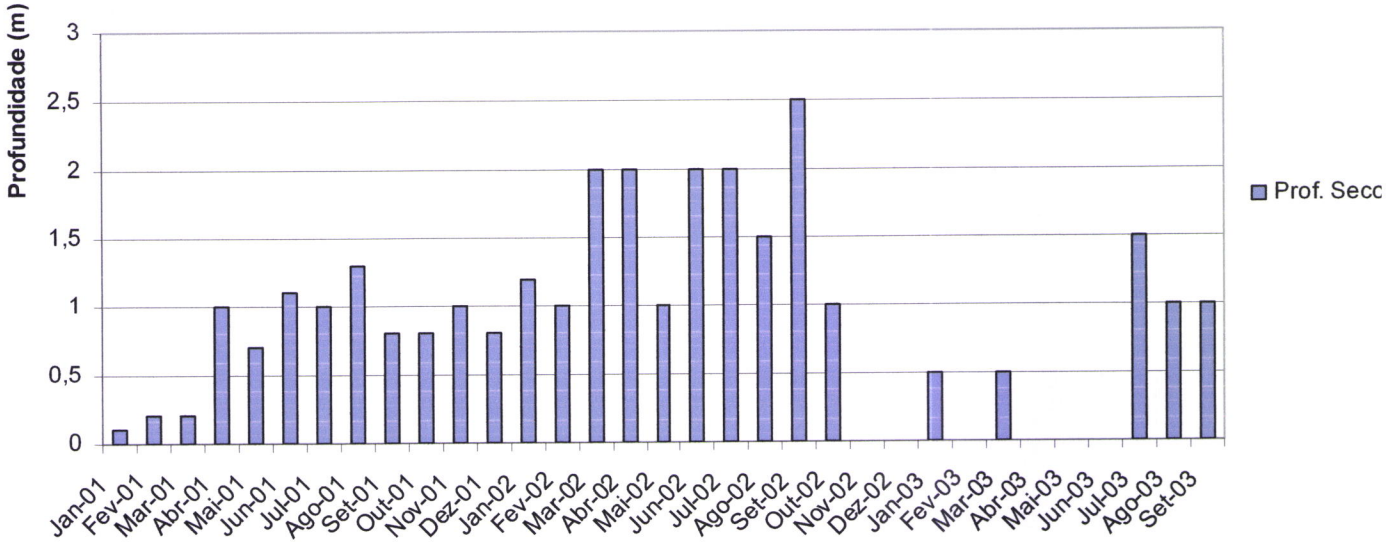


FIGURA 10 - Variação da profundidade do disco de *Secchi* na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Os valores da profundidade do disco de *Secchi* apresentaram uma amplitude elevada no ano de 2001, sendo o valor máximo de 1,30 m registado em Agosto, e o mínimo de 0,10 m em Janeiro. Em 2002 os valores variaram de 2,50 m em Setembro a 1,00 m nos meses de Fevereiro, Maio e Outubro. A média determinada para esta variável foi de 0,60 m no ano de 2001 e de 1,50 m em 2002.

No ano de 2003 os registos disponíveis são poucos, dificultando a interpretação da evolução anual deste parâmetro, contudo, os valores variam entre 1,50 m no mês de Julho e 0,50 m nos meses de Janeiro e Março.

As alterações da profundidade do disco de *Secchi* na albufeira de Monte Novo durante o período em estudo, parecem seguir a variação anual da precipitação (Figura 4.2), registando-se os valores mais reduzidos no período de maior pluviosidade. Assim, os valores registados podem ter origem na matéria orgânica e inorgânica em suspensão na água e não devido a um aumento da concentração de algas (Wetzel, 1993). Este facto leva a que, no sistema de classificação do estado trófico adoptado pelo INAG para Portugal em 2001, a transparência não seja considerada nos critérios utilizados na classificação.

4.2 Mineralização

Dada a importância da condutividade, da dureza total e dos SST para avaliar do estado de mineralização da água, procedemos à análise da variação destas variáveis ao longo dos três anos em estudo e nos três níveis de profundidade a que foi colhida a amostra.

Na Figura 11 apresentam-se os gráficos do tipo *Box-and-Wisker* para os parâmetros condutividade, dureza e sólidos suspensos totais.

4.2.1 Condutividade e Dureza Total

A condutividade é a medida da capacidade de uma solução aquosa conduzir um fluxo eléctrico (APHA, 1998). Os valores da condutividade dependem da concentração dos iões originários da erosão das rochas e solos, podendo este parâmetro ser indicador da erosão verificada nas bacias de drenagem (Horne e Goldman, 1994).

Na Figura 11 verifica-se que os valores da condutividade aumentam sucessivamente de 2001 para 2003, notando-se simultaneamente uma menor dispersão dos dados. Por outro lado, apresenta padrões semelhantes aos três níveis de profundidade, notando-se contudo, uma maior dispersão dos dados em 2002.

O valor mínimo (140 µS/cm) ocorre em Março de 2001 à "superfície" e "fundo", e o valor máximo (364 µS/cm) observa-se no mês de Julho de 2002 no "meio".

A dureza total (Figura 11) apresenta um padrão semelhante ao da condutividade com aumento ao longo do período estudado. Tal facto é comprovado pelo coeficiente de correlação positiva existente entre os dois parâmetros ($r = 0,864$; $p < 0,001$; $n = 99$).

Os valores da mediana aumentam, nos três níveis de profundidade, continuamente, de 2001 para 2003. A maior dispersão de dados verifica-se no ano de 2001. É ainda de notar que as distribuições são assimétricas, em particular nos anos de 2001 e 2002. O valor mínimo (56 mg/L $CaCO_3$) observa-se em Março de 2001 no "fundo" e o valor máximo (122 mg/L $CaCO_3$) em Outubro de 2003 à "superfície".

A condutividade e a dureza apresentam valores relativamente elevados, o que indica uma considerável mineralização da água da albufeira de Monte Novo. Valores elevados de condutividade são característicos de águas duras, onde a concentração em Ca^{2+} é geralmente alta. No caso da albufeira de Monte Novo, os elevados valores da condutividade poderão ser explicados pela grande susceptibilidade da sua bacia de drenagem à erosão o que promove a entrada de iões para a massa de água (Horne e Goldman, 1994). Outra explicação

possível para o elevado teor de iões na água da albufeira poderá ser a existência de fontes poluidoras de origem agro-pecuária industriais (APHA, 1998).

4.2.2 Sólidos suspensos totais

Os sólidos suspensos totais (SST) representam o material em suspensão na água, e que, lentamente, se vai depositando no fundo, acabando por sedimentar. Este material é constituído por compostos orgânicos e inorgânicos de origem autóctone ou alóctone.

Os sólidos totais (Figura 11) apresentam um padrão completamente diferente dos anteriormente descritos. Observa-se a presença de "outliers" em todos os anos, particularmente aos níveis "superfície" e "meio". Estes "outliers" correspondem, a observações efectuadas em meses chuvosos (Janeiro, Fevereiro e Março), período em que a quantidade de material em suspensão, arrastado pelas as águas de escorrência, é elevada. Tal facto é comprovado pelas correlações positivas significativas entre os sólidos suspensos totais à superfície e a precipitação média mensal ($r= 0,648$; $p<0,01$; $n=34$) e entre os sólidos suspensos totais a meia água e a precipitação média mensal ($r=0,589$, $p<0,01$; $n=34$).

Nota-se que o padrão é semelhante nos três anos, verificando-se, em qualquer dos anos um aumento do valor da mediana da "superfície" para o "fundo" e uma muito maior dispersão dos dados referente ao "fundo". Com excepção das observações referentes ao "fundo" de 2003, observa-se uma redução acentuada do 1º e 2º quartil, o que significa que os valores mais reduzidos apresentam uma menor dispersão. Por isto, as distribuições são, em quase todos os casos muito assimétricas.

O valor mínimo para os sólidos suspensos totais (3 mg/L) foi observado em Junho de 2002 à "superfície" e o valor máximo (105 mg/L) em Fevereiro de 2002 no "fundo". Os valores mais elevados no "fundo" são devidos à deposição, o que indica a existência de materiais finos no fundo da albufeira.

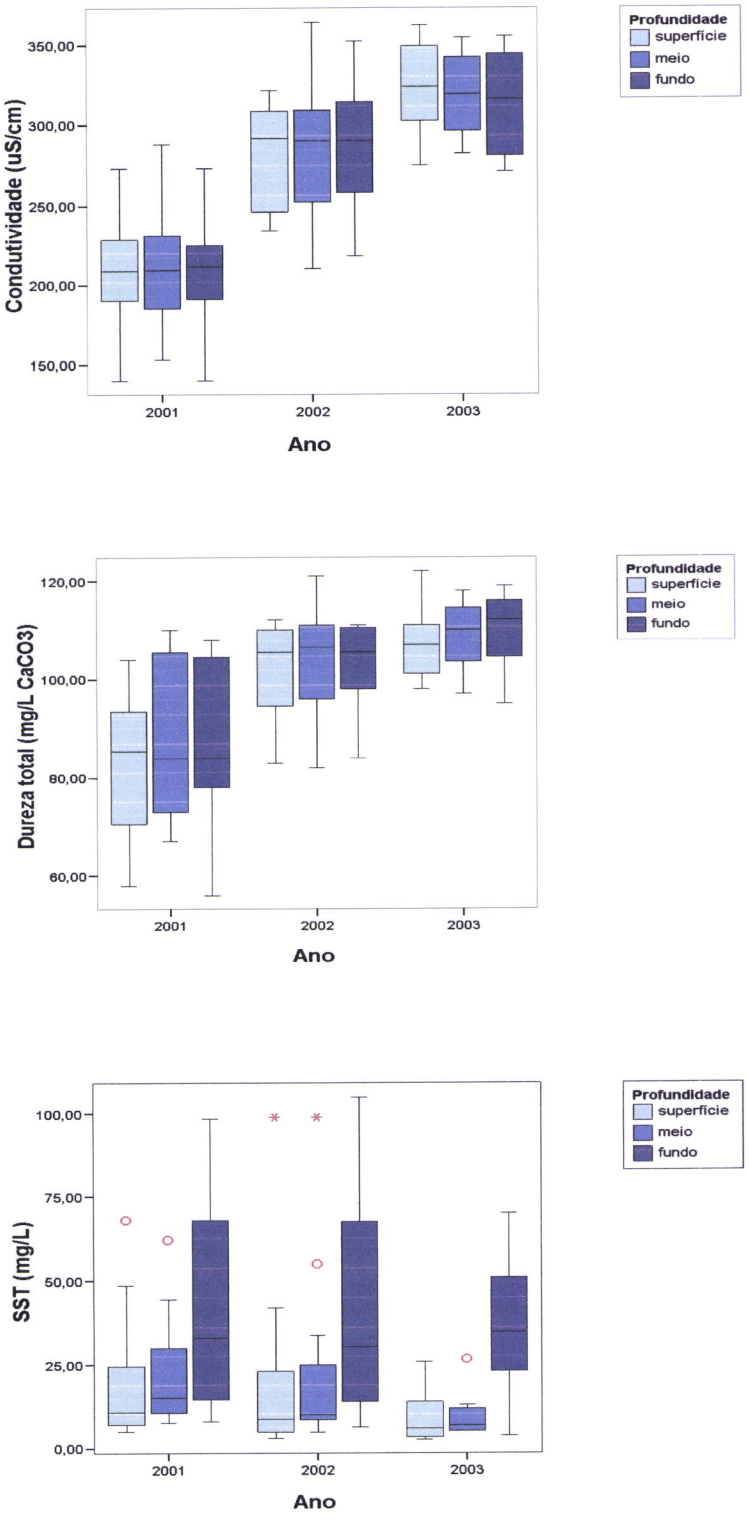


FIGURA 11 - Representação gráfica de parâmetros estatísticos. Método BOX-AND-WHISKER (valores máximo e mínimo, "outliers", mediana, quartil superior e quartil inferior).

4.2.3 Cloretos

Nas águas doces superficiais os cloretos encontram-se, em grande parte, em solução na forma do ião Cl^-. A sua concentração nas águas naturais não excede, em geral, 10 mg/L Cl (Chapman,1996).

A entrada de cloretos nas massas de água está associada a descargas de efluentes industriais e a escorrências de origem agrícola. Como as concentrações do ião na água estão, em geral, associadas à presença de esgoto, este parâmetro faz muitas vezes parte de programas de avaliação de qualidade, como indicador de uma possível contaminação fecal ou como medida da extensão da dispersão de descargas de efluentes nas massas de água (Chapman, 1996).

Na albufeira do Monte Novo os cloretos apresentam uma variação temporal ao longo do período de estudo, registando-se os valores mais elevados nos anos de 2002 e 2003, como se pode verificar pela Figura 12. A concentração mais elevada (37 mg/L Cl^-) regista-se em Agosto de 2003 nas situações de "superfície" e "meio". O valor mais reduzido (11 mg/L Cl^-) observa-se no mês de Março de 2001 no "fundo". Não se notam, contudo, variações significativas entre os valores registados nas diferentes profundidades.

Os cloretos (Figura 12) apresentam um padrão semelhante ao da condutividade (Figura 11), com aumento ao longo do período estudado. Este facto pode ser comprovado pela correlação positiva existente entre os 2 parâmetros ($r=0,825$; $p<0,01$; $n=99$). Verifica-se, também, que existe uma correlação positiva significativa entre os cloretos e a dureza total ($r=0,712$; $p<0,01$; $n=99$).

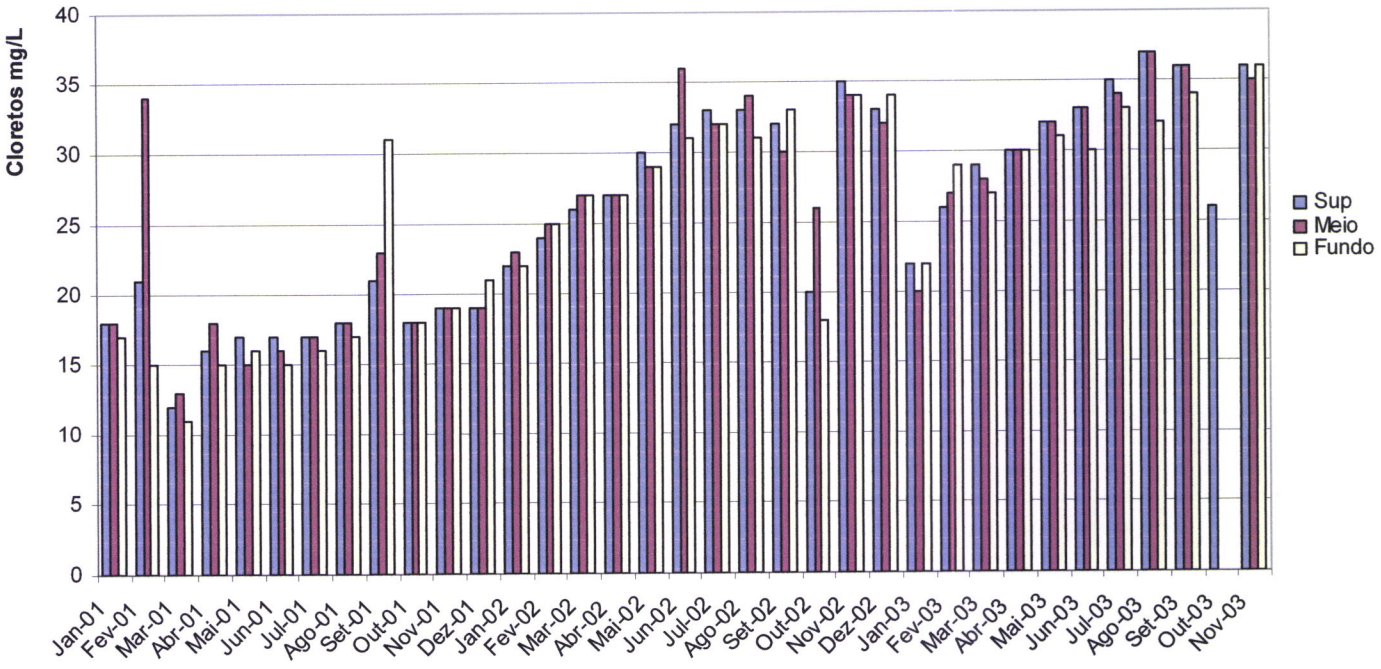


FIGURA 12 - Valores dos cloretos na água da albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

4.3 Parâmetros indicadores de matéria orgânica no sistema

Todas as águas naturais contêm matéria orgânica, tanto na forma dissolvida como particulada, e algumas também sob a forma coloidal (Golterman, 1975). Esta diversidade de compostos orgânicos torna difícil a sua identificação e quantificação directa. No entanto, existem alguns parâmetros, tais como: a carência química de oxigénio (CQO), a carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) e a oxidabilidade que nos permitem uma estimativa da matéria orgânica no sistema.

4.3.1 Carência Química de Oxigénio (CQO)

No que respeita ao CQO, uma medida do oxigénio equivalente à matéria orgânica susceptível de ser oxidada por um agente químico oxidante, registam-se variações significativas entre as amostragens realizadas, o que pode reflectir a instabilidade da qualidade da água na albufeira de Monte Novo.

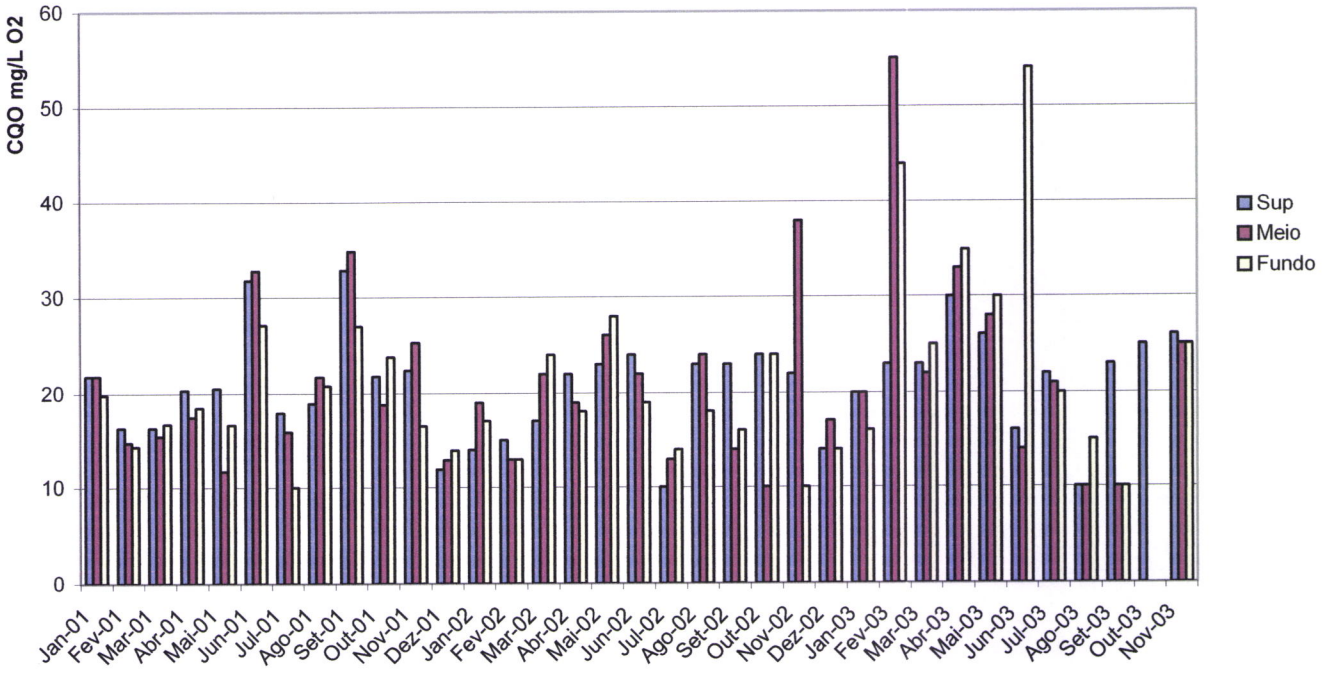


FIGURA 13 - Valores da carência química de oxigénio na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Os valores mais elevados são registados no ano de 2003 no mês de Fevereiro, na situação de "meio" (55 mg/L O_2) e de "fundo" (44 mg/L O_2). Estes valores podem estar associados ao transporte de materiais sólidos pelas águas de escorrência, uma vez esta amostragem decorreu após um curto período de precipitação (Departamento de Engenharia - UE).

Em Junho de 2003 observa-se a concentração de 54 mg/L O_2, na situação de "fundo", o que pode ser justificado pelas condições de anóxia que, neste mês ocorreram na albufeira (Figura 8).

4.3.2 Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5)

O parâmetro CBO_5 representa a matéria orgânica bioquimicamente degradável.

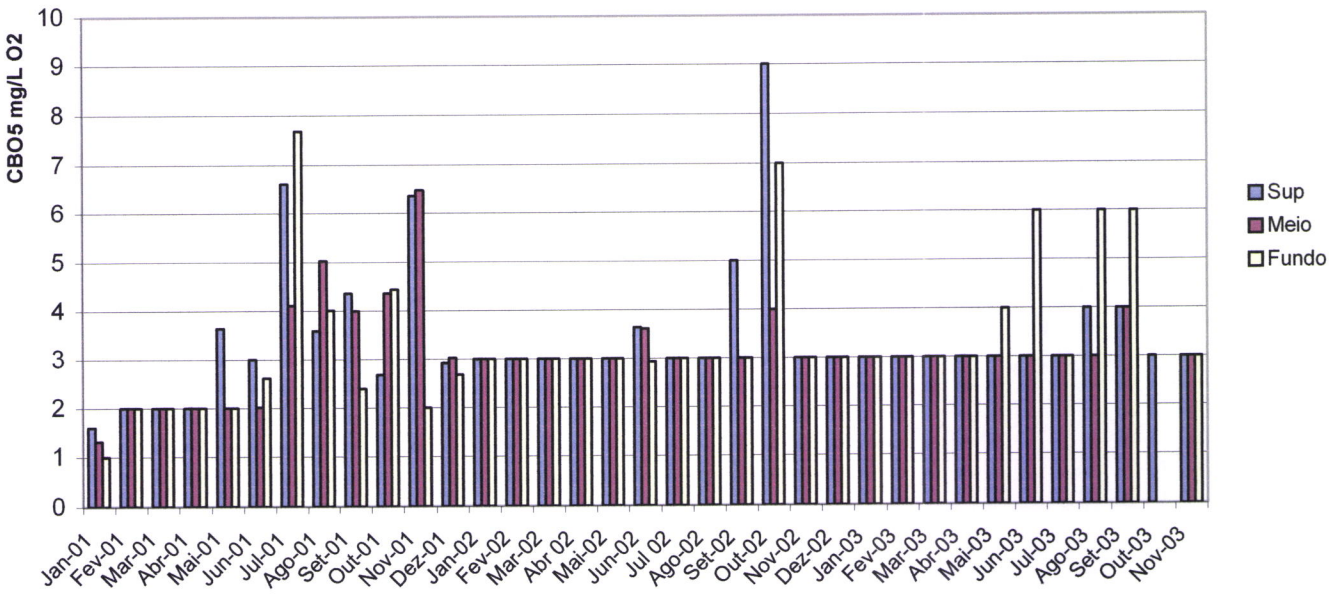


FIGURA 14 - Valores da carência bioquímica de oxigénio na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001,2002 e 2003

Os valores mais elevados são registados em Outubro de 2002 à "superfície" (9 mg/L O_2) e no "fundo" (7 mg/L O_2). Em 2001 surge um outro pico no mês de Junho à "superfície" (6.61 mg/L O_2) e no "fundo" (7,68 mg/L O_2); no mês de Novembro à "superfície" (6,35 mg/L O_2) e no "meio" (6.48 mg/L O_2). No ano de 2003 registam-se alguns picos, na situação de fundo nos meses de Junho (6 mg/L O_2), Agosto (6 mg/L O_2) e Setembro (6 mg/L O_2).

Os valores elevados de CBO_5 detectados na albufeira de Monte Novo são indicadores de elevados teores de matéria orgânica que não é decomposta ao longo da coluna de água e que se acumula no fundo.

4.3.3 Oxidabilidade

A oxidabilidade apresenta alguma variabilidade temporal. Verifica-se, uma ligeira tendência para concentrações mais elevadas nos meses tendencialmente com maior precipitação, o que pode evidenciar a importância da entrada de matéria orgânica particulada alóctone por transporte hídrico. Tal

facto pode ser comprovado pela correlação positiva significativa que existe entre os sólidos suspensos totais e a precipitação.

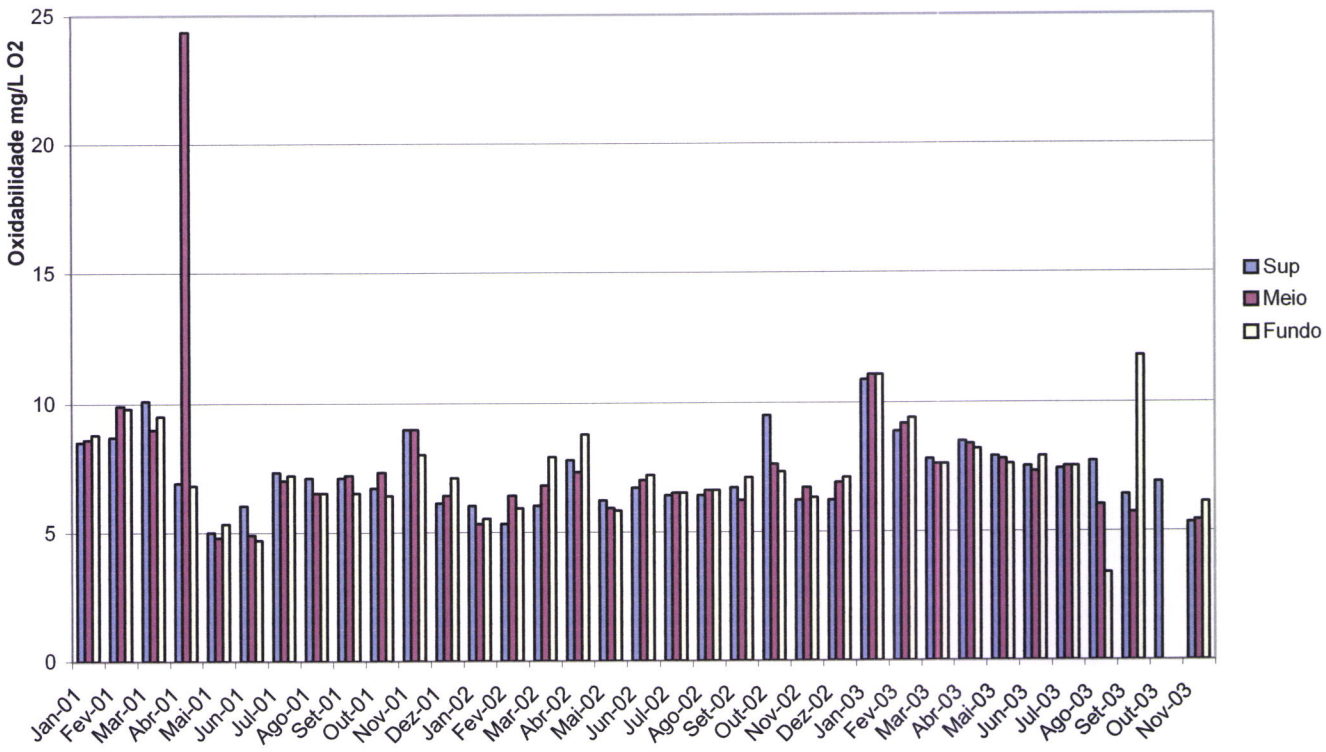


FIGURA 15 - Valores da oxidabilidade na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Os valores mais elevados observam-se, em geral, nas situação de "fundo", o que pode estar relacionado com a sedimentação da matéria orgânica na albufeira. No mês de Abril de 2001 regista-se um pico de 24,33 mg/L O_2 a meia profundidade o que parece indicar uma tendência de deposição de matéria orgânica no fundo da albufeira.

4.4 Nutrientes

Embora, desde há muito, o fósforo seja considerado o nutriente com maior impacto na produtividade primária nos sistemas lênticos, presentemente tem-se valorizado bastante a importância que representam as concentrações de azoto na água doce no que diz respeito à regulação da produtividade das algas (Wetzel, 1993). Segundo o mesmo autor, embora sejam as concentrações do fósforo que frequentemente regulam a produtividade quando ela é mantida a níveis elevados, a presença do azoto é extremamente importante para a manutenção elevada de populações de algas.

A eutrofização é um processo que se realiza à escala histórica e é definida como o enriquecimento do meio aquático, causado directa ou indirectamente por actividades humanas, provocando o aumento da produtividade biológica e alterações gerais do metabolismo aquático (Ferreira, 2002). Concentrações elevadas de nutrientes têm um impacto negativo nas massas de água, reduzindo o seu valor económico ao inviabilizar a utilização deste recurso natural para vários fins, tais como o fornecimento de água para as populações e as actividades de lazer.

4.4.1 Azoto

O azoto é um elemento essencial para os organismos vivos, por ser um constituinte importante das proteínas, incluindo o material genético. As plantas e os microorganismos transformam o azoto inorgânico em formas orgânicas. No ambiente, o azoto inorgânico existe em diferentes estados de oxidação como nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-), ião amónio (NH_4^+) e azoto molecular (N_2) (Chapman, 1996).

Nitratos

O ião nitrato (NO_3^-) é a forma de azoto mais comum nas águas naturais. Este ião, em condições anaeróbicas, é bioquimicamente reduzido a nitrito (NO_2^-) por

mecanismos de desnitrificação. Por outro lado, o ião nitrito na presença de oxigénio é facilmente oxidado a nitrato (Chapman, 1996).

Na albufeira de Monte Novo os nitratos apresentam um padrão temporal muito evidente que se repete nos três anos de estudo, como se pode verificar pela Figura 16.

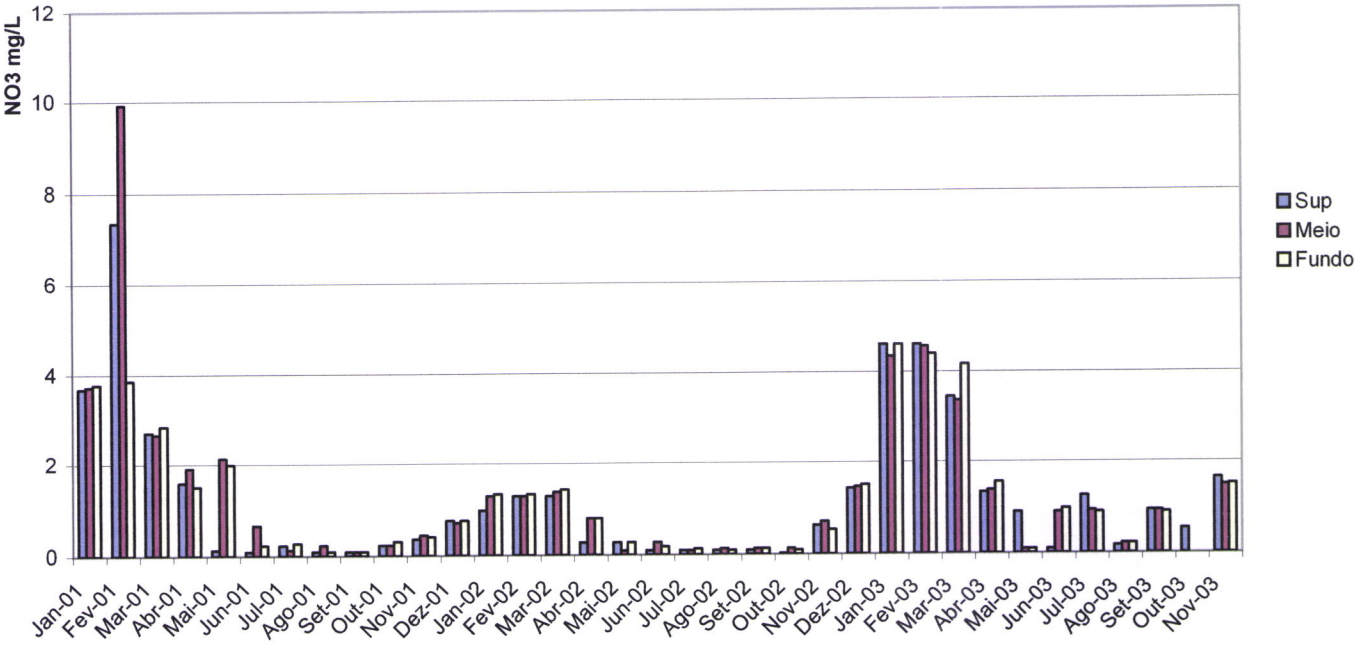


FIGURA 16 - Evolução temporal dos nitratos na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

As concentrações mais elevadas de nitratos registam-se nos meses mais chuvosos. No mês de Fevereiro de 2001, a meia profundidade, foi observado o valor mais elevado (9,92 mg/L NO_3^-). Os teores elevados de nitratos podem estar associados ao aumento de transporte de azoto sob a forma nítrica pelas águas de escorrência dos terrenos agrícolas, como se pode comprovar pela correlação positiva que se verifica entre os nitratos e a precipitação média mensal ($r = 0,386$; $p < 0,05$; $n = 33$). Chapman (1996) refere que concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L são, geralmente, indicadores de poluição

resultante de actividades agrícolas, nomeadamente escorrências de fertilizantes. Segundo De Marsily (1995), 50 a 90% do nitrato presente nas águas superficiais é de origem agrícola.

As concentrações mais reduzidas (0,09 mg/L de NO_3^-) registam-se nos meses de Verão, devido à assimilação pelos produtores primários.

Observando a Figura 16 pode considerar-se que o azoto na forma nítrica contribui bastante para a eutrofização da albufeira. Os valores registados para os nitratos nos meses de Inverno e início da Primavera proporcionam o crescimento dos produtores primários, uma vez que, de acordo com Chapman (1996) concentrações de nitratos superiores a 0;2 mg/L tendem a estimular o crescimento das algas nas albufeiras e indicam possíveis condições eutróficas. No Verão, com o aumento da produtividade primária os teores de nitratos descem a valores muito reduzidos.

Nitritos

Quimicamente os nitritos representam um composto intermédio, muito instável, no processo de oxidação do azoto amoniacal (forma reduzida de azoto) a nitratos (forma oxidada de azoto), razão pela qual surgem em concentrações muito baixas nos ecossistemas.

Pela Figura 17 pode-se observar que as concentrações em nitritos são, em geral, baixas, havendo meses em que esses valores se situam abaixo do limite de detecção do método. A concentração mais elevada (0,13 mg/L NO_2^-) observa-se no mês de Julho de 2001, no "fundo". Esta situação pode ser explicada pelas condições redutoras, devido aos reduzidos teores de oxigénio, que nesta época do ano, ocorrem no fundo da albufeira.

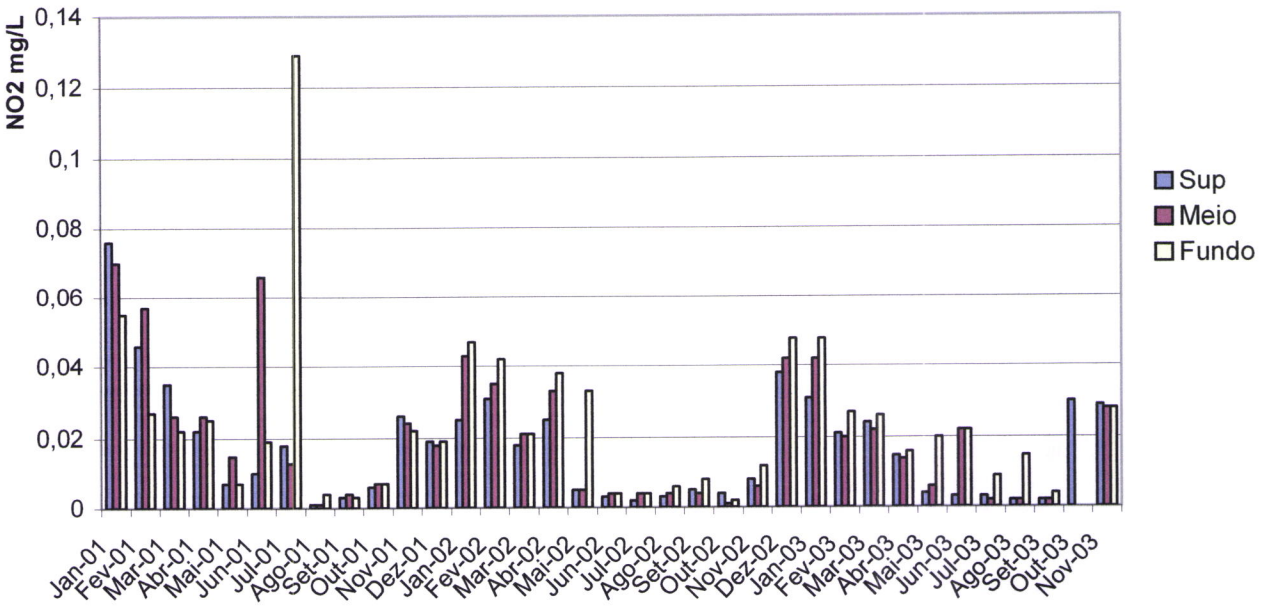


FIGURA 17 - Evolução temporal dos nitritos na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Embora não exista correlação entre os nitritos e os nitratos na albufeira de Monte Novo, verifica-se que apresentam um padrão semelhante ao longo do período estudado. Ambos registam, em geral, os valores mais elevados no período de Inverno, época das chuvas, e os mais reduzidos no Verão, período de maior produtividade primária.

Azoto amoniacal

A distribuição da amónia nas massas de água apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, que depende da produtividade e do grau de poluição de origem orgânica (Wetzel, 1993).

Durante os três anos de estudo (2001, 2002 e 2003) da Albufeira de Monte Novo, observa-se uma grande variabilidade dos dados relativos ao azoto amoniacal (Figura 18).

Durante o período de estratificação térmica os teores de azoto amoniacal são baixos à superfície e a meia profundidade, registando-se as concentrações mais elevadas na situação de "fundo". O valor mais elevado observa-se em Agosto de 2003 (1,7 mg/L NH_4^+). Esta situação é normal e poderá estar associada às condições de anóxia que, nesta época do ano, se verificam nas camadas mais profundas da albufeira, uma vez que, teores reduzidos de oxigénio dissolvido contribuem para a manutenção desta forma reduzida de azoto.

Os valores mais baixos de azoto amoniacal observam-se, principalmente no período de mistura, fim de Outono e Inverno, época do ano em que, devido à circulação, o teor de oxigénio dissolvido (OD mg/L) nas camadas mais profundas é mais elevado, o que favorece a nitrificação do azoto. Tal facto é comprovado pela correlação negativa significativa entre o OD (mg/L) e o azoto amoniacal ($r= -0,439$; $p< 0,001$; $n = 89$).

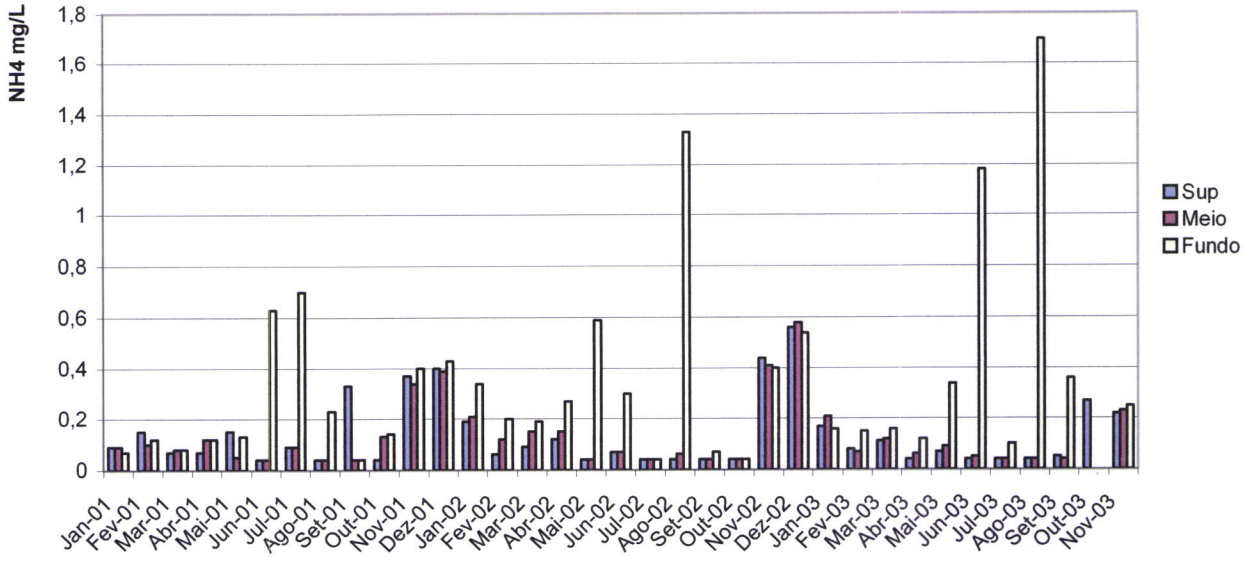


FIGURA 18 - Evolução temporal do azoto amoniacal na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Azoto de Kjeldahl

O azoto de Kjeldahl representa o somatório do azoto orgânico e amoniacal.

Embora em relação a este parâmetro só se disponha de dados em meses alternados, observando a Figura 16 verifica-se uma tendência para valores mais elevados em profundidade, devido à acumulação de matéria orgânica no fundo da albufeira. A concentração mais elevada (2,23 mg/L N) regista-se no mês de Maio de 2002 na situação de "fundo". O valor mais baixo (0,24 mg/L N) observou-se em Março de 2002 à superfície.

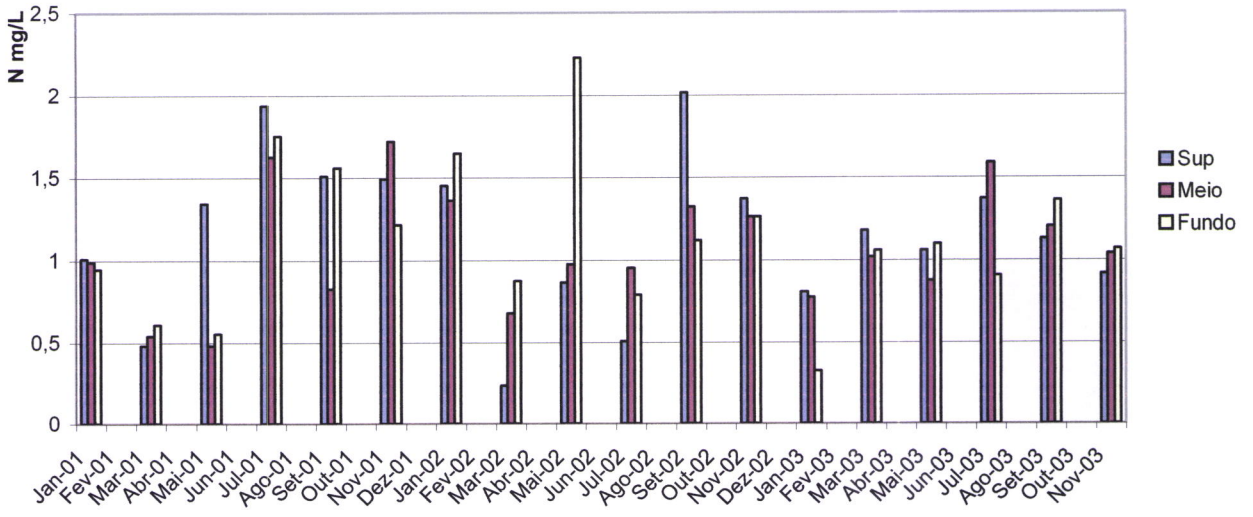


FIGURA 19 - Evolução temporal do azoto de Kjeldahl na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Os dados de que dispomos levam-nos a concluir que, na albufeira de Monte Novo 71% a 98% do azoto de Kjeldahl registado à superfície está na forma de azoto orgânico. O mesmo não se verifica nas situações de meio e fundo. A meia profundidade a percentagem de azoto orgânico é de 22%, o que significa que o azoto amoniacal representa 78% do azoto de Kjeldahl. Na situação de fundo a percentagem de azoto orgânico é bastante reduzida, entre 1% e 11%, o que sugere que os valores registados para o azoto na forma amoniacal

representam entre 99% e 89% do azoto de Kjeldahl. Este facto é comprovado pela correlação positiva significativa entre o azoto de Kjeldahl e a azoto amoniacal ($r=0,464$; $p<0,01$; $n=54$).

4.4.2. Fósforo

O fósforo é essencial a todas as formas de vida na terra e não tem efeito tóxico directo sobre o Homem ou outros animais. As preocupações ambientais associadas ao fósforo centram-se no facto de este estimular a produtividade biológica nos ecossistemas aquáticos (Pierzynski *et al.*, 2000).

O fósforo existe nos corpos de água tanto dissolvido, como em partículas e, em geral, é considerado o nutriente limitante para o crescimento das algas, controlando a produtividade primária numa massa de água. Aumentos dos teores de fósforo devido a actividades humanas são a principal causa da eutrofização (Chapman, 1996).

O fósforo total é o único parâmetro químico utilizado na classificação do estado trófico de uma massa de água. Durante o período de estudo, como se pode observar pela Figura 20, os valores registados na água da albufeira do Monte Novo são, em geral, superiores ao valor mínimo a partir do qual se considera a eutrofia, e que é de 35 mg/m^3 (INAG, 2001).

A Figura 20 mostra que o fósforo total apresenta um padrão semelhante ao do azoto amoniacal (Figura 18), tendo-se verificado uma correlação positiva significativa entre estes dois parâmetros ($n=0,736$; $p<0,01$; $n=31$), nas amostras do fundo.

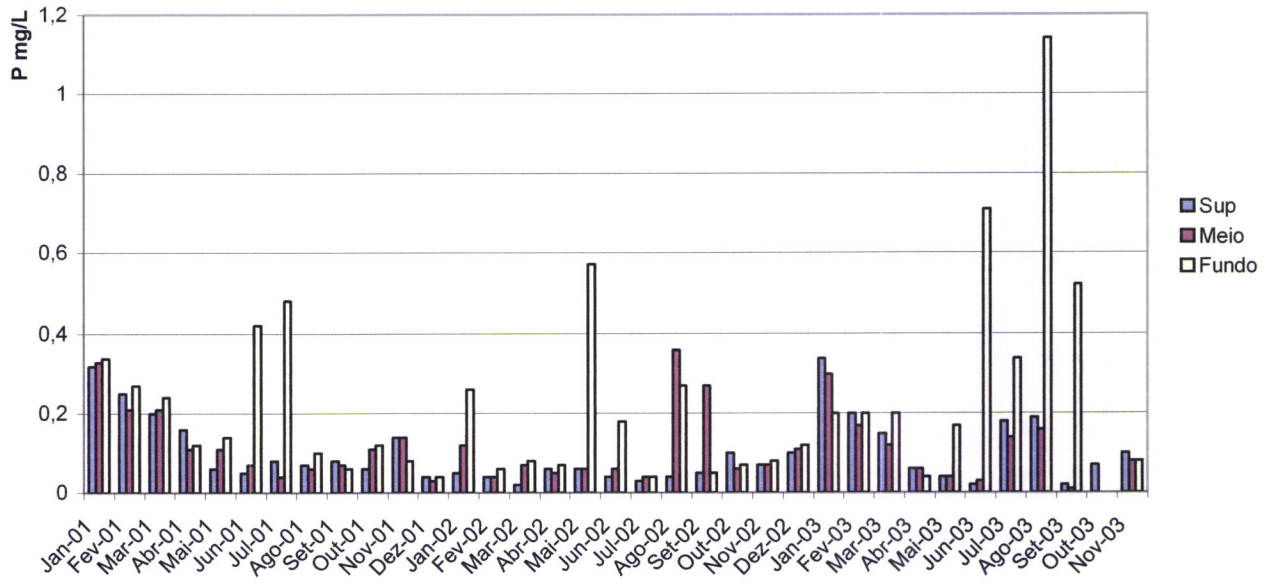


FIGURA 20 - Evolução temporal do fósforo total na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

As concentrações mais elevadas de fósforo total registam-se nos meses de Verão, no fundo como se verifica no mês de Agosto de 2003 (1,139 mg/L P). Em massas de água que durante o período de estratificação apresentam perfis clinogrados de oxigénio, como se verifica na albufeira de Monte Novo, a distribuição do fósforo ao longo da coluna de água é muito variável, observando-se normalmente um aumento acentuado da concentração de fósforo nas camadas mais profundas, geralmente durante a estratificação. A maior parte deste aumento dos teores de fósforo corresponde à presença de fósforo solúvel, junto da interface dos sedimentos (Wetzel, 1993).

Os valores mais reduzidos observam-se, em geral nos meses de Primavera e Verão, à superfície, o que pode indicar o elevado consumo de fósforo pelos produtores primários. A concentração mais baixa (0,016 mg/L P) foi registada no mês de Setembro de 2003.

As concentrações elevadas de fósforo total que se registam à superfície nos meses de Inverno (0,315 mg/L P em Janeiro de 2001 e 0,338 mg/L P em

Janeiro de 2003), podem estar relacionadas com precipitação que geralmente ocorre nessa época do ano (Figura 4.2), o que pode sugerir a entrada externa de fósforo na massa de água. Este comportamento assemelha-se ao dos nitratos (Figura 16), tendo-se obtido correlações positivas significativas entre estes dois parâmetros à superfície ($r=0,717$; $p<0,01$; $n=31$) e a meia profundidade ($r=0,556$; $p<0,01$; $n=31$).

Em contraste com as diferentes formas de azoto inorgânico existentes no sistema aquático, no ciclo do fósforo a forma inorgânica mais importante é o ortofosfato (P_2O_5) (Morais, 1995).

Na Figura 21 apresenta-se a evolução temporal dos fosfatos durante os três anos de estudo. Os fosfatos são elevados, representando, por vezes mais de 50% do fósforo total. Por exemplo, em Março de 2002 observaram-se às três profundidades, valores de fosfatos superiores a 50% do fósforo total (60% à superfície; 55% a meia profundidade e 88% no fundo), o que significa que os valores de fósforo orgânico são reduzidos.

Os valores mais elevados de fosfatos registam-se em profundidade, principalmente nos meses de Verão, provavelmente, a partir da libertação de fosfatos do sedimento de fundo, resultante das condições redutoras que se criam devido às condições de anóxia que, nesta época do ano, se observam no fundo da albufeira (Pierzynski *et al.*, 2000). Segundo Wetzel (1993) o metabolismo bacteriano da matéria orgânica é o principal mecanismo pelo qual o fósforo orgânico é convertido em fosfatos nos sedimentos, contribuindo, também, para a criação das condições redutoras fundamentais à libertação do fosfato para a água.

Nos meses chuvosos registam-se valores elevados de fosfatos à "superfície", provavelmente, devido a escorrências de origem agrícola. Este facto pode ser confirmado pela correlação positiva significativa entre os fosfatos e a precipitação média mensal ($r=0,384$; $p<0,05$; $n=35$). O valor mais elevado (0,336 mg/L de P_2O_5) foi observado em Janeiro de 2003.

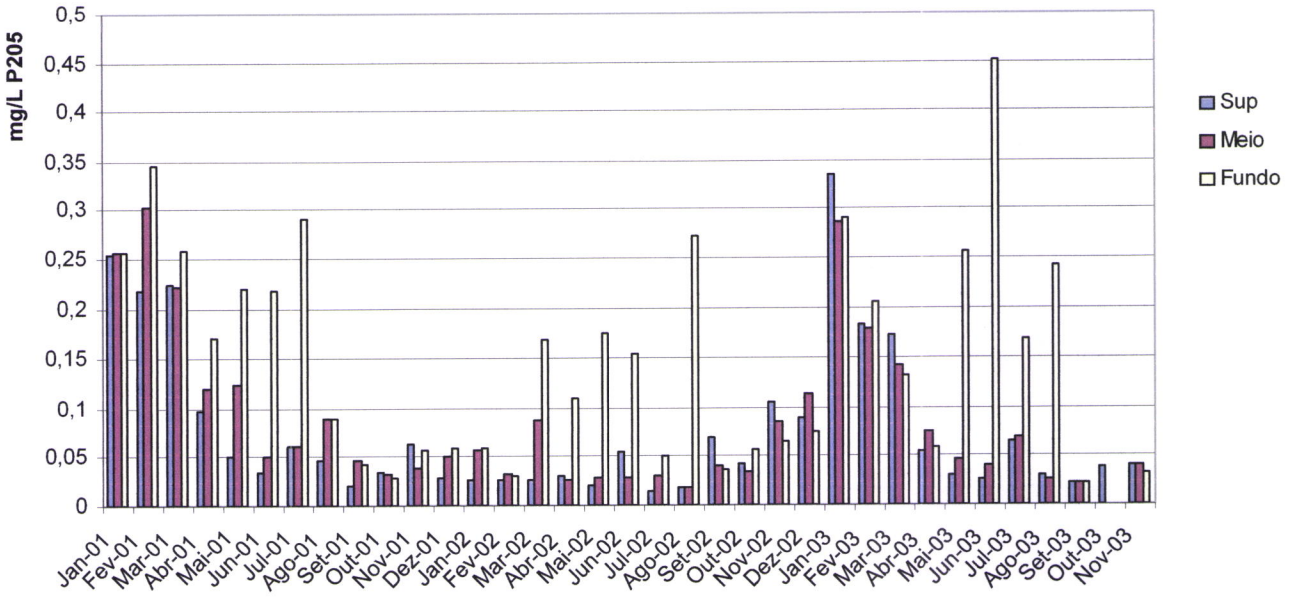


FIGURA 21 - Evolução temporal dos fosfatos na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

Como foi referido anteriormente, na albufeira de Monte Novo a contribuição do fósforo de origem agrícola é bastante significativa no enriquecimento da massa de água. O regime hidrológico da região caracterizado por períodos relativamente longos de fraca pluviosidade, sucedidos de forte precipitação, pode levar ao arrastamento de sedimentos do solo e ao consequente enriquecimento da água da albufeira com os nutrientes depositados no solo. Uma vez na albufeira, o fósforo solúvel está imediatamente disponível para ser consumido pelos organismos aquáticos tais como as algas, enquanto que grande parte do fósforo particulado é removido por deposição para o sedimento. Contudo, é importante referir, que o fósforo depositado nos sedimentos das massas de água, pode, posteriormente, tornar-se disponível para absorção biológica (Pierzynski *et al.*, 2000). Thomann e Mueller (1987) referem que o impacto da libertação de nutrientes a partir dos sedimentos pode ser significativo permitindo a continuação dos problemas de eutrofização, mesmo quando as fontes externas são eliminadas.

4.4.3. Relação Azoto:Fósforo

Nas águas naturais as concentrações em nutrientes são muito baixas comparadas com as potenciais necessidades dos organismos aquáticos, o que explica o facto de uma entrada suplementar de nutrientes, nomeadamente azoto e fósforo, provocar o crescimento da produtividade biológica e, consequentemente, a eutrofização do sistema (Tusseau-Vuillemin, 2001).

Embora se considere que em muitas massas de águas doces superficiais a produtividade biológica é limitada pelo fósforo (P) e não pelo azoto (N), a determinação da relação N:P na água, geralmente referida como "relação Redfield", é um importante indicador de qual destes nutrientes é potencialmente limitante dos produtores primários. Se a razão N:P>16, o P é considerado o factor potencialmente limitante para o crescimento das algas. Se, pelo contrário, N:P<16, o N é considerado o factor potencialmente limitante (Pierzynski *et al.*, 2000).

Para a albufeira do Monte Novo, a razão N:P foi determinada utilizando no numerador o azoto inorgânico, ou seja o somatório dos nitratos e do azoto amoniacal, e no denominador o valor da concentração dos fosfatos.

A variação temporal da razão N:P na água, ao longo do período de estudo está representada na Figura 22, onde se verifica uma significativa redução nos valores de Verão, época de maior produtividade primária. Assim os valores mais baixos observam-se nos meses de Julho (4), Agosto (2) e Setembro (3) e em 2002 nos meses de Setembro (2) e Outubro (3). No ano de 2003 a razão N:P apresenta valores mais elevados, embora só dois deles sejam superiores a 16, sendo o valor mais reduzido (6) observado no mês de Agosto.

Pela Figura 22 observa-se que, durante o período de estudo, na maior parte dos meses (24) a relação N:P é inferior a 16, o que mostra a potencialidade que o azoto apresenta para ser considerado o factor limitante da produtividade primária na albufeira de Monte Novo. Os valores superiores a 16 registam-se,

em geral, nos meses de Inverno quando o N está disponível. O valor médio da razão N:P foi de 10 no ano de 2001, de 12 em 2002 e de 14 no ano de 2003.

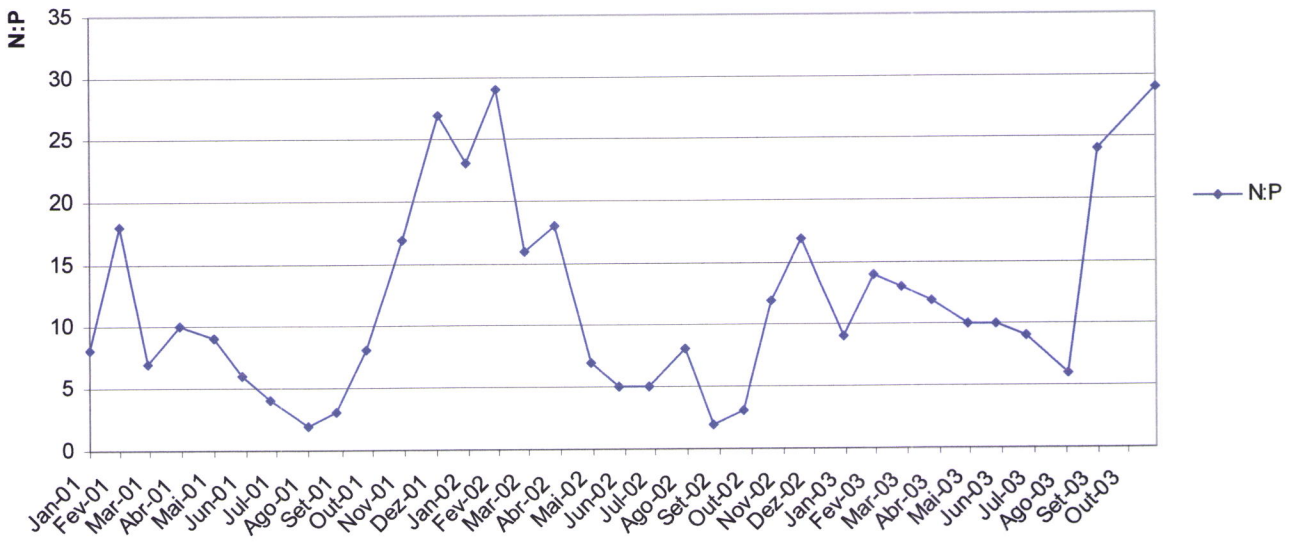


FIGURA 22 - Evolução temporal da relação N:P na água, na albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003

O aumento significativo do uso do fósforo, que, durante as últimas décadas, se tem verificado tanto na agricultura (fertilizantes) como nos detergentes sintéticos, leva a uma maior disponibilidade de fósforo no ecossistema, que consequentemente favorece o enriquecimento das massas de água (Wetzel, 1993). Segundo o mesmo autor este enorme aumento da concentração de fósforo no sistema pode tornar o azoto um factor potencialmente limitante em massas de água onde, inicialmente, não o era.

4.5 Descritores Biológicos

4.5.1 Clorofila *a*

A clorofila *a* é um pigmento fotossintético que se usa como parâmetro de medida da produtividade primária. A concentração de clorofila *a* permite estimar, indirectamente, a biomassa algal e é um dos parâmetros indicadores do estado trófico de uma massa de água (Chapman, 1996).

Na Figura 23 apresenta-se a evolução anual da clorofila *a* na albufeira de Monte Novo para o período do estudo. Observa-se que, a concentração da clorofila *a* na água apresenta uma amplitude de variação elevada, reflexo da variabilidade temporal. Chapman (1996) refere que embora o crescimento das algas nos corpos de água dependa da presença de nutrientes (principalmente azoto e fósforo), da temperatura e da luz solar, as concentrações em clorofila *a* podem flutuar sazonalmente e mesmo diariamente, dependendo das condições meteorológicas.

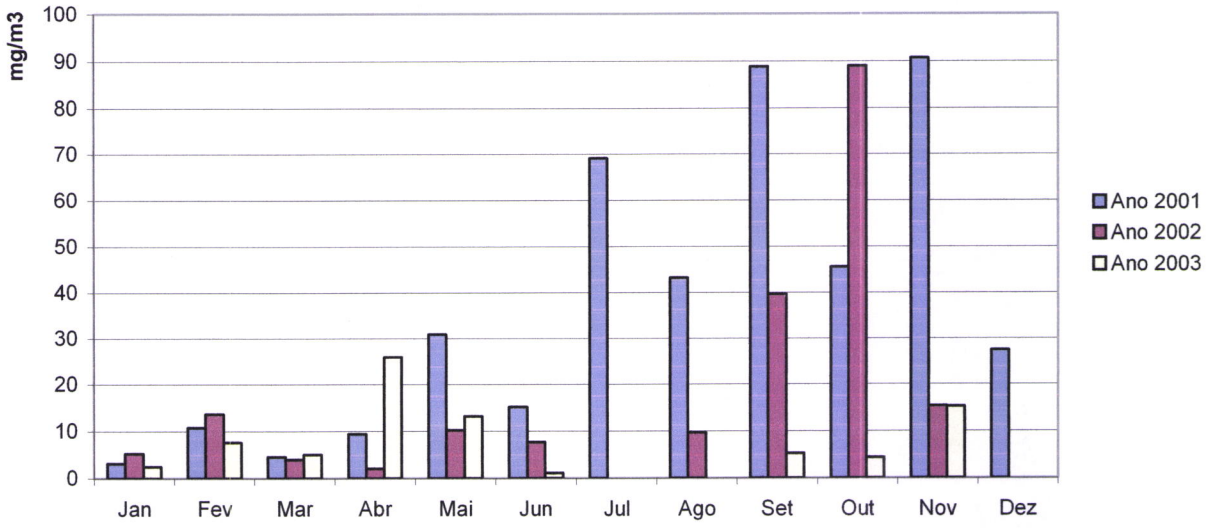


FIGURA 23 - Evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira do Monte Novo para os anos de 2001, 2002 e 2003

As concentrações mais elevadas de clorofila *a* verificaram-se no ano de 2001. Os valores mais elevados observaram-se, sobretudo no Verão e início do Outono, época do ano de maior luminosidade e temperaturas mais elevadas. No mês de Julho registou-se o valor de 69,1 mg/m^3, em Setembro 88,8 mg/m^3 e em Novembro 90,7 mg/m^3. No ano de 2001, em todos os meses, à excepção de Janeiro (3,2 mg/m^3), Março (4,6 mg/m^3) e Abril (9,4 mg/m^3), os valores da concentração em clorofila *a*, foram superiores ao valor mínimo a partir do qual uma massa de água é considerada eutrófica e que é de 10 mg/m^3 (classificação do estado trófico adoptada pelo INAG em 2001).

Embora no ano de 2002 os valores observados para a clorofila *a* tenham sido, de um modo geral, mais baixos do que os do ano anterior, este parâmetro continuou a contribuir para a classificação da albufeira como eutrófica. Os valores mais elevados registaram-se nos meses de Setembro (39,72 mg/m^3) e de Outubro (88,92 mg/m^3). O valor mais reduzido foi registado em Abril (2,05 mg/m^3).

A variação temporal ao longo do ano de 2003 torna-se difícil de interpretar, na medida em que não se dispõe de valores da concentração de clorofila *a* referentes aos meses de Julho e Agosto, justamente a época do ano em que a produtividade primária é mais elevada. No entanto os dados disponíveis mostram que, à excepção dos valores registados em Abril (26,04 mg/m^3), em Maio (13,2 mg/m^3) e Novembro (15,33 mg/m^3), em todos os outros meses a concentração de clorofila *a* situou-se abaixo do limite mínimo (10 mg/m^3) a partir do qual o sistema é classificado de eutrófico; o que levou a que, neste ano, este parâmetro se tivesse situado na gama da mesotrofia.

O aumento das concentrações de clorofila *a* observado nos meses de Verão pode corresponder ao aparecimento das cianobactérias. Em 2001 o aumento da clorofila *a* registou-se a partir de Junho, coincidindo com o aparecimento das cianobactérias (Morais *et al.*, 2003). Segundo estes autores durante o período em que as cianobactérias começaram a evidenciar o seu desenvolvimento (mais de 2000 células/mL) foi detectada toxicidade na água da albufeira. As toxinas produzidas pelas cianobactérias não são eliminadas

nos tratamentos de água com cloragem e com ozono, sendo igualmente resistentes a temperaturas superiores a 100ºC; havendo uma única técnica de remoção que consiste na adição de carvão activado.

Considerando que o Valor Máximo Admitido (VMA) de clorofila *a,* numa água de consumo é de 1µg/L (recomendação da OMS), conclui-se que as concentrações observadas nos três anos de estudo são extremamente elevadas, na medida em que a albufeira de Monte Novo se destina ao fornecimento de água para abastecimento público.

4.5.2 Coliformes totais

A análise global dos resultados obtidos ao longo do período de estudo (2001, 2002 e 2003) permite observar densidades de unidades formadoras de colónias de coliformes totais relativamente baixas (Figura 24.1). Em nenhuma das amostragens os coliformes totais atingiram densidades superiores ao Valor Máximo Recomendado – VMR - (5000 UFC/100 mL) para uma água de categoria A2; tendo, mesmo, em algumas das amostragens os coliformes totais atingido densidades inferiores ao Valor Máximo Recomendado – VMR – (50 UFC/100 mL) para uma água de categoria A1, de acordo com os limites estabelecidos no Anexo II do Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto, referente às águas doces superficiais destinadas à água para consumo humano.

Na Figura 24.1 observa-se a evolução anual das densidades de unidades formadoras de colónias de coliformes totais (logaritmizadas, usaram-se logaritmos naturais ou neperianos) na albufeira para o período em estudo.

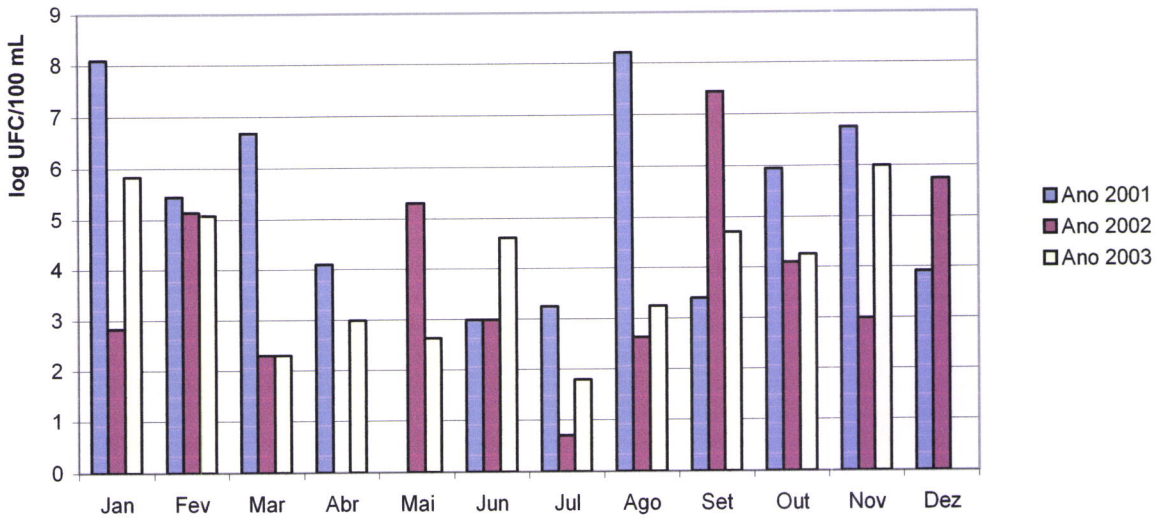


FIGURA 24.1 - Evolução anual das densidades de unidades formadoras de colónias de coliformes totais (logaritmizadas) na albufeira de Monte Novo para os anos de 2001, 2002 e 2003

No ano de 2001 o valor mais elevado da densidade de unidades formadoras de colónias de coliformes totais observou-se no mês de Agosto (3700 UFC/100 mL) e o mais reduzido registou-se em Abril (1 UFC/100 mL).

Em 2002, o valor mais elevado da densidade de unidades formadoras de colónias de coliformes totais ocorreu em Setembro (1720 UFC/100 mL). Na amostragem de Abril não se registou presença de coliformes totais.

No ano de 2003, o valor mais elevado da densidade de unidades formadoras de colónias de coliformes totais foi de 400 UFC/100 mL no mês de Novembro e o mais reduzido observou-se em Julho (6 UFC/100 mL).

Segundo o Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto, relativamente ao parâmetro coliformes totais, a água na albufeira de Monte Novo apresentou, nos três anos de estudo, a classificação correspondente à categoria A2, cujo valor Valor Máximo Recomendado – VMR – é de 5000 UFC/100 mL, e à qual deverá corresponder, segundo o mesmo Decreto-Lei, um tratamento do tipo físico,

químico e desinfecção, uma vez que a albufeira destina-se ao abastecimento de água para o consumo humano.

O facto de os valores disponíveis para os coliformes totais terem suscitado algumas reservas levou a que no ano de 2004, nos meses de Agosto e Novembro, se fizessem 3 colheitas de amostras de água na zona da captação da albufeira para análise microbiológica. Os resultados obtidos estão representados (logaritmizados, usaram-se logaritmos naturais ou neperianos) na Figura 24.2.

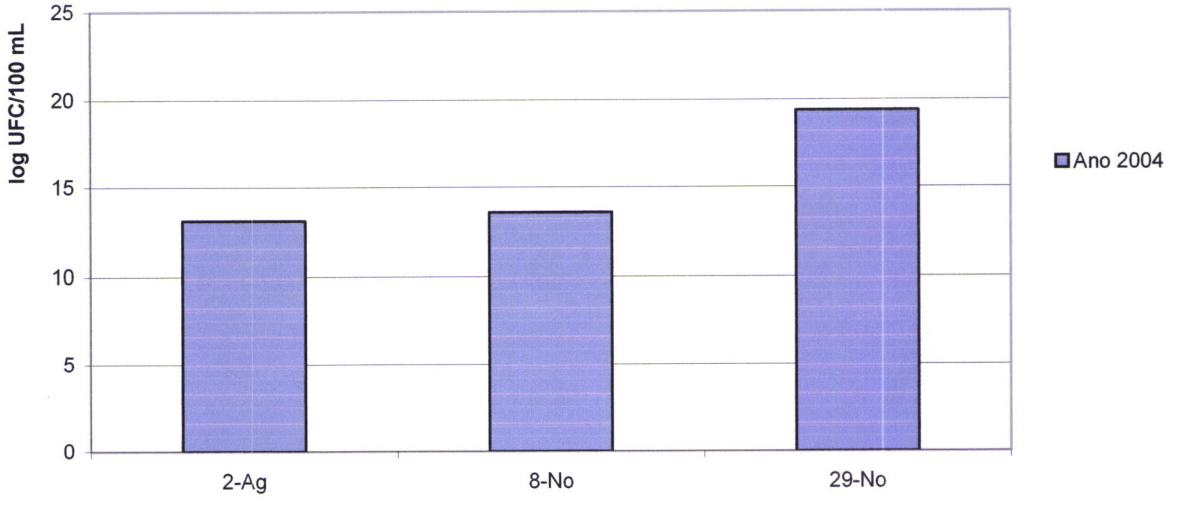


FIGURA 24.2 - Densidades de unidades formadoras de colónias de coliformes totais (logaritmizadas) na albufeira de Monte Novo nas colheitas de Agosto e Novembro de 2004

Na amostragem efectuada a 2 de Agosto registou-se o valor de $5{,}0x10^5$ UFC/100 mL. Em 8 de Novembro o valor obtido foi de $8{,}0x10^5$ UFC/100 mL e na amostragem de 29 de Novembro obteve-se o valor de $2{,}6x10^8$ UFC/100 mL.

Os níveis elevados de coliformes totais observados nas colheitas realizadas nos dias 8 e 29 de Novembro, resultaram, provavelmente, do arraste para a massa de água de material orgânico existente nas margens da albufeira, nomeadamente excrementos de animais, pelas águas de escorrência, dado

que neste mês se registaram períodos de alguma precipitação (Departamento de Engenharia – U.E).

Comparativamente com o período do estudo (Figura 24.1) os valores dos coliformes totais, referentes às 3 amostras colhidas em 2004, são mais elevados (Figura 24.2). Os valores obtidos nas três amostragens, foram superiores ao Valor Máximo Recomendado ($5{,}0x10^4$ UFC/100 mL) para a classe A3, o nível mais elevado de contaminação, ao qual, segundo o D. L. nº 236/98, deverá corresponder um tratamento físico, químico, de afinação e desinfecção, se a água se destinar à produção de água para consumo humano, como é o caso da albufeira de Monte Novo.

4.5.3 Relação entre descritores biológicos e físico-químicos

Tentou perceber-se quais os descritores físico-químicos que exerceram maior influência sobre os coliformes totais e a clorofila *a*. Para tal, usou-se o modelo de Regressão Linear Múltipla atrás referido.

Do conjunto de descritores físico-químicos referidos no capítulo anterior, considerou-se que todos eles poderiam ter efeitos sobre os dois descritores biológicos.

Verificou-se a existência de uma relação linear entre o logaritmo do número de coliformes totais presentes na água da albufeira e os descritores físico químicos - oxigénio dissolvido (OD) e nitritos (NO_2^-) (Quadro 6).

Quadro 6 - Resumo dos resultados da análise de regressão múltipla aplicada aos coliformes totais (logaritmizados)

Variáveis biológicas	Variáveis independentes	Coeficiente de regressão	Regressão valor F	R^2	d.f.
Coliformes totais	OD NO_2 Intercepção	-0,218 20,194 3,204	10,566*	0,3599	32

* significativa $p<0,001$

O coeficiente de determinação múltiplo (R^2) é de 0,3599, o que quer dizer que as variáveis oxigénio dissolvido e nitritos conseguem explicar cerca de 36% da variabilidade dos coliformes totais. A regressão é significativa, uma vez que a probabilidade do valor de F é <0,001.

De acordo com os resultados obtidos pode dizer-se que a relação entre o número de coliformes totais, logaritmizados, e os descritores oxigénio dissolvido e nitritos é dada por:

$$\log (\text{Coliformes totais}) = - 0,218\ OD + 20,195\ NO_2 + 3,205$$

Em relação à variável clorofila *a* procedeu-se de modo idêntico, tendo sido seleccionadas, por serem estatisticamente significativas ($p<0,05$), as variáveis: carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) e cloretos (Cl). Os resultados da análise de regressão múltipla para esta variável encontram-se resumidos no Quadro 7.

Quadro 7. Resumo dos resultados da análise de regressão múltipla aplicada à clorofila *a*

Variáveis biológicas	Variáveis independentes	Coeficiente de regressão	Regressão valor F	R^2	d.f.
Clorofila *a*	CBO_5	13,934	46,562*	0,728	32
	Cl	-1,340			
	Intercepção	7,751			

* significativa $p<0,001$

Neste caso, as variáveis carência bioquímica e cloretos são capazes de explicar cerca de 73% da variabilidade da clorofila *a*. As variáveis independentes (CBO_5 e Cl^-) são significativas dado que $p<0,001$.

De acordo com os resultados a que chegámos, a clorofila *a* pode ser estimada por:

$$\text{Clorofila } a = 13,935\ CBO_5 - 1,341\ Cl + 7,751$$

4.6 Análise global dos descritores

A ordenação dos parâmetros físico-químicos foi estudada através de uma Análise em Componentes Principais (ACP). Efectuou-se a ordenação de dezasseis parâmetros, para um local amostrado (a zona de captação da albufeira), a três níveis de profundidade (superfície, meio e fundo), para cada um dos três anos de estudo (2001, 2002 e 2003).

Verifica-se, pela ordenação das componentes principais, que no ano de 2001 a explicação dada por cada uma das componentes principais foi a seguinte: 37,6% pela primeira componente; 18,6% pela segunda componente; 12,4% pela terceira componente e 8,7% pela quarta componente.

No ano de 2002 a explicação dada por cada uma das componentes principias para a ordenação dos descritores físico químicos foi de 36,0% pela primeira componente; 16,8 % pela segunda componente; 10,5% pela terceira componente e 9,2% pela quarta componente.

Em 2003 a explicação dada por cada uma das componentes principais para a ordenação dos descritores físico químicos foi a seguinte: 49,1% pela primeira componente; 23,6% pela segunda componente; 7,7% pela terceira componente e 4,7% pela quarta componente.

No caso em estudo consideram-se, exclusivamente, a primeira e a segunda componentes principais. Esta opção baseia-se no facto de a terceira e a quarta componentes apresentarem uma percentagem de explicação <15%. A percentagem de explicação dada pela terceira componente é, respectivamente, 12,4% em 2001; 10,5% em 2002 e de 7,7% em 2003. A quarta componente apresenta apenas uma explicação residual, para os três anos de estudo.

Estudo referente ao ano de 2001

Nesta análise consideram-se 16 variáveis (parâmetros físico químicos): pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (temp), condutividade (conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2).

Os indivíduos ou objectos considerados são: Janeiro (Jan), Fevereiro (Fev), Março (Mar), Abril (Abr), Maio (Mai), Junho (Jun), Julho (Jul), Agosto (Ag), Setembro (Set), Outubro (Out), Novembro (Nov) e Dezembro (Dez). Para todos os meses foram recolhidas amostras a três profundidades designadas por superfície (Sup), meio (M) e fundo (F).

Admite-se que os indivíduos têm todos o mesmo peso, $\sum_{i=1} p_i = 1$, em que p_i designa o peso do i-ésimo indivíduo.

Na Figura 25 estão representados os valores próprios para as quatro Componentes Principais da análise referente ao ano de 2001. O valor próprio para a primeira componente é 0,376, para a segunda 0,186, para a terceira 0,124 e para a quarta 0,087.

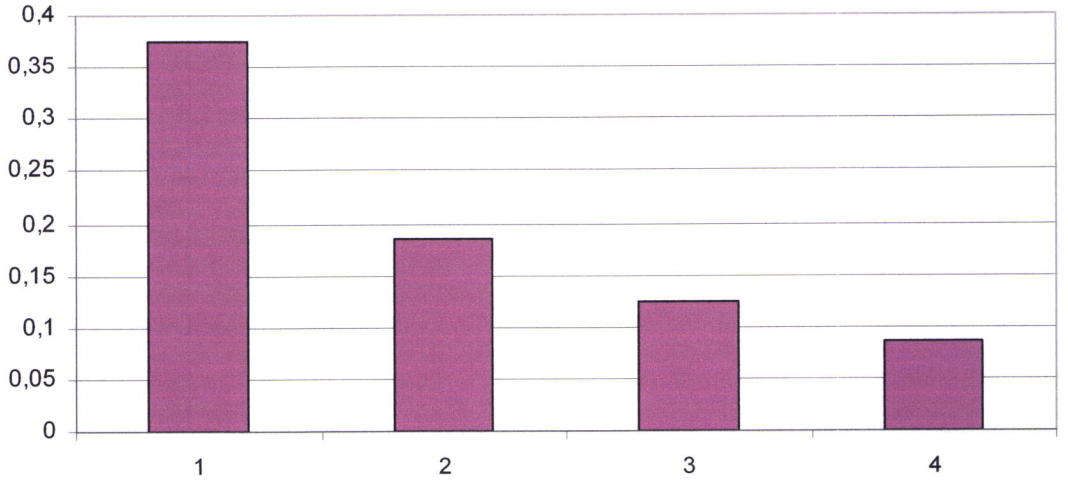


FIGURA 25 - Valores próprios para as Componentes Principais referentes ao ano de 2001

Na Figura 26 apresenta-se a projecção dos parâmetros físico químicos (pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (Temp), condutividade (Conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2), e dos 12 meses em estudo, com amostragens a três profundidades (superfície, meio e fundo), na albufeira de Monte Novo.

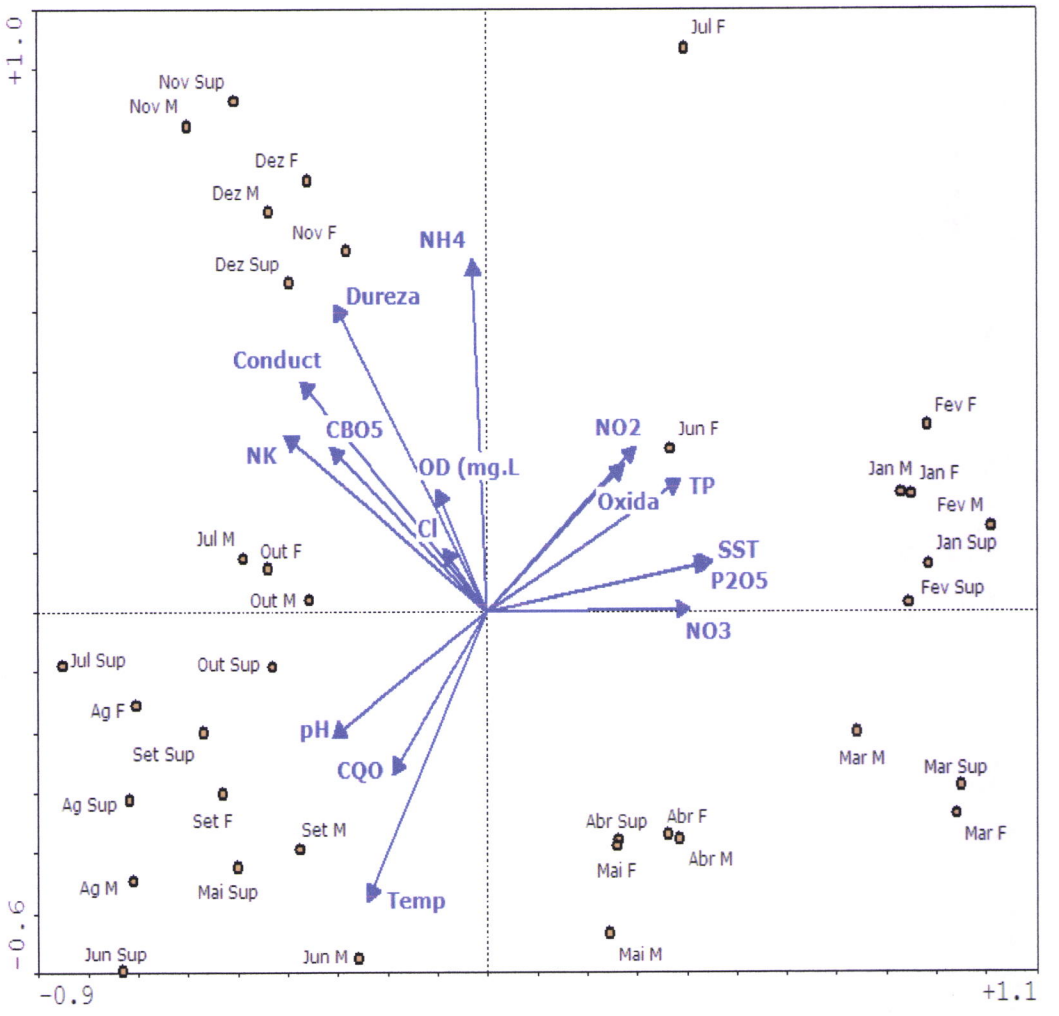


FIGURA 26 - Ordenação dos 16 parâmetros físico químicos e dos 12 meses na albufeira de Monte Novo para o ano de 2001

A primeira componente (37,6% de variância) ordena do sector positivo do eixo 1 a generalidade das amostragens de "meio" e de "fundo": (Jan M), (Fev M), (Mar M), (Abr M), (Mai M) e (Jan F), (Fev F), (Mar F), (Abr F), (Mai F), (Jun F), (Jul F, é um "outlier"), e algumas amostragens de superfície (Jan Sup), (Fev Sup), (Mar Sup), (Abr Sup). No sector positivo do mesmo eixo situam-se igualmente os descritores que contribuem para a ordenação, nomeadamente os sólidos suspensos totais (SST), os ortofosfatos (P_2O_5), o fósforo total (TP), os nitritos (NO_2), os nitratos (NO_3) e a oxidabilidade (oxida). Do lado negativo

do eixo 1 concentram-se as amostragens de "superfície": (Mai Sup), (Jun Sup), (Jul Sup), (Ag Sup), (Set Sup), (Out Sup), (Nov Sup), (Dez Sup) e algumas amostragens de "meio" e de "fundo": (Jun M), (Jul M), (Ag M), (Set M), (Out M), (Nov M), (Dez M); (Ag F), (Set F), (Out F), (Nov F) e (Dez F). No lado negativo do mesmo eixo localizam-se, também, os descritores que surgem relacionados com essa disposição: a temperatura (temp), o pH, o azoto de Kjeldahl (NK), a carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), a condutividade (conduct) e a dureza.

Relativamente às amostragens e relacionando com a localização dos descritores físico químicos observa-se uma oposição entre as amostragens de (Jan Sup), (Jan M), (Jan F), (Fev Sup), (Fev M) e (Fev F), localizadas no sector positivo do eixo 1 (1º quadrante) e as amostragens localizadas no sector negativo do mesmo eixo (3º quadrante). Esta oposição poderá traduzir a eventual relação entre os elevados valores da temperatura da água à superfície (26,3 ºC) registados no Verão, em oposição aos valores elevados de oxigenação da massa de água, na ausência de estratificação térmica.

A localização do pH no mesmo quadrante da temperatura pode estar relacionada com o facto de, em termos físicos, o aumento da temperatura provocar uma diminuição da solubilidade dos gases na água (Cole e Hannan, 1990), ocorrendo, deste modo, uma redução da concentração de CO_2, com a formação de iões (OH^-) e a consequente subida dos valores do pH da água (Wetzel, 1993).

Apesar de o valor da precipitação acumulada no ano de 2001 ter sido baixo (585,16 mm), nos meses de Janeiro e de Fevereiro a precipitação registada foi, respectivamente, de 130,99 mm e de 87,96 mm (Departamento de Engenharia - UE). Nestes meses ocorreram períodos de intensa precipitação que contribuíram para uma elevada taxa de escorrência da água dos terrenos adjacentes à albufeira. Esta escorrência poderá ter contribuído para a entrada na massa de água de nutrientes (nitratos e fósforo) e material orgânico associado à matéria particulada em suspensão. Estes "inputs" podem resultar do transporte de fertilizantes químicos à base de nitratos e fosfatos (Ross *et al.*, 1989) utilizados nas culturas de sequeiro praticadas na bacia de drenagem da

albufeira. Assim, a localização próxima dos nitratos (NO_3), ortofosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida) e sólidos suspensos totais (SST), dos pontos de amostragem (Jan Sup), (Jan M), (Jan F), (Fev Sup), (Fev M) e (Fev F) parece confirmar esta suposição.

A segunda componente (18,6% de variância) agrupa no lado positivo do eixo 2 as amostragens efectuadas em (Jan Sup), (Jan M), (Jan F), (Fev Sup), (Fev M), (Fev F), (Jun F), (Jul F, que é um "outlier"), (Nov Sup), (Nov M), (Nov F), (Dez Sup), (Dez M), (Dez F), (Jul M), (Out M) e (Out F). Do lado negativo do mesmo eixo situam-se as amostragens de (Out Sup), (Set Sup), (Set M), (Set F), (Ag Sup), (Ag M), (Ag F), (Jul Sup), (Jun Sup), (Jun M), (Mai Sup), (Mai M), (Mai F), (Abr Sup), (Abr M), (Abr F), (Mar Sup), (Mar M) e (Mar F). Os descritores relacionados com esta disposição são no sector positivo do eixo 2, o azoto amoniacal (NH_4), a dureza e a condutividade (conduct), e no sector negativo do mesmo eixo a temperatura (temp).

A localização da dureza e da condutividade (parâmetros relacionados com a litologia, tipo e uso do solo da bacia de drenagem) no 2º quadrante, próxima de amostragens de (Dez Sup), (Dez M), (Dez F), (Nov Sup), (Nov M) e (Nov F), pode sugerir uma susceptibilidade da bacia de drenagem da albufeira aos fenómenos de erosão, uma vez que a condutividade, é considerada um parâmetro indicador da erosão nas bacias (Horne e Goldman, 1994)

Relativamente às amostragens, a segunda componente ordena no lado positivo do eixo 2 as realizadas no Outono e no Inverno, e no lado negativo do mesmo eixo as efectuadas na Primavera e no Verão. Esta oposição poderá traduzir a estratificação térmica que ocorre na albufeira, na Primavera e Verão (Maio, Junho, Julho e Agosto), e a fase de mistura ou circulação que se verifica na massa de água no Outono e Inverno.

Durante a estratificação térmica os teores de oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água são reduzidos, podendo mesmo ocorrer anóxia no hipolimnio. Nos lagos de águas quentes a desoxigenação das camadas inferiores do metalimnio e do hipolimnio é um fenómeno corrente (Hutchinson, 1957). Nas

camadas mais profundas anóxicas, ocorrem processos bacteriológicos anaeróbicos com produção de dióxido de carbono, amónia e sulfureto de hidrogénio (Wetzel, 1993). Na fase de mistura estes compostos circulam na coluna de água, atingindo a superfície. Este facto poderá explicar a localização do azoto amoniacal (NH_4) no sector positivo do eixo 2.

Estudo referente ao ano de 2002

Nesta análise consideram-se 16 variáveis (parâmetros físico químicos): pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (temp), condutividade (conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2).

Os indivíduos ou objectos considerados são: Janeiro (Jan), Fevereiro (Fev), Março (Mar), Abril (Abr), Maio (Mai), Junho (Jun), Julho (Jul), Agosto (Ag), Setembro (Set), Outubro (Out), Novembro (Nov) e Dezembro (Dez). Para todos os meses foram recolhidas amostras a três profundidades designadas por superfície (Sup), meio (M) e fundo (F).

Admite-se que os indivíduos têm todos o mesmo peso, $\sum_{i=1} p_i = 1$, em que p_i designa o peso do i-ésimo indivíduo.

Na Figura 27 estão representados os valores próprios para as quatro Componentes Principais da análise referente ao ano de 2002. O valor próprio é 0,360 para a primeira componente; 0,168 para a segunda componente; 0,105 para a terceira componente e 0,092 para a quarta componente.

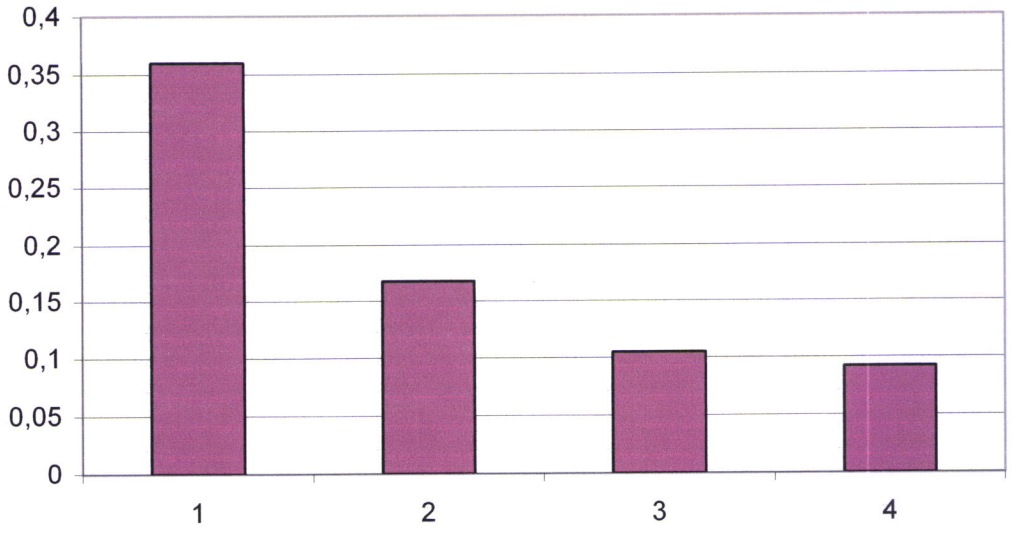


FIGURA 27 - Valores próprios para as Componentes Principais referentes ao ano de 2002.

Na Figura 28 apresenta-se a projecção dos parâmetros físico químicos (pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (Temp), condutividade (Conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2)), e dos 12 meses em estudo, com amostragens a três profundidades, na albufeira de Monte Novo.

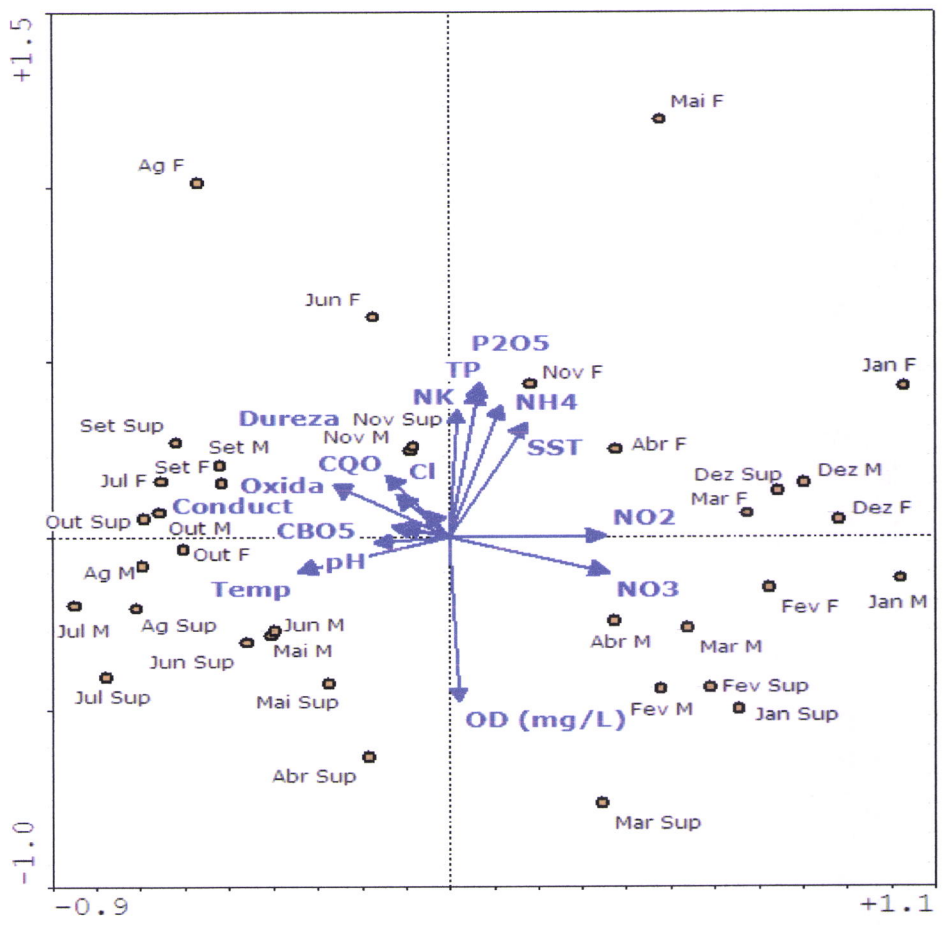


FIGURA 28 - Ordenação dos 16 parâmetros físico químicos e dos 12 meses na albufeira de Monte Novo para o ano de 2002

A primeira componente (36,0% de variância) ordena do lado positivo do eixo 1 amostragens de "meio" e "fundo": (Jan M), (Fev M), (Mar M), (Abr M), (Dez M), (Jan F), (Fev F), (Mar F), (Abr F), (Mai F, que é um "outlier"), (Nov F), (Dez F), e algumas amostragens de superfície (Jan Sup), (Fev Sup), (Mar Sup). No sector positivo do mesmo eixo situam-se igualmente os descritores que contribuem para a ordenação: os nitritos (NO_2) e os nitratos (NO_3). Do lado negativo do eixo 1 concentram-se as amostragens de "superfície": (Abr Sup), (Mai Sup), (Jun Sup), (Jul Sup), (Ag Sup), (Set Sup), (Out Sup), (Nov Sup) e algumas amostragens de "meio" e de "fundo": (Mai M), (Jun M), (Jul M), (Ag M), (Set M), (Out M), (Jun F), (Jul F), (Ag F, que é um "outlier"), (Set F) e (Out F). No lado negativo do mesmo eixo localizam-se os descritores que parecem

determinar esta disposição: a oxidabilidade (oxida), a temperatura (Temp) e o pH.

Relativamente às amostragens e relacionando com a posição dos descritores observa-se uma oposição entre as amostragens de (Dez Sup), (Dez M), (Dez F), (Mar F), (Jan M) e (Fev F) localizadas no sector positivo do eixo 1 e as amostragens de (Jun Sup), (Jul Sup), (Ag Sup), (Jul M) e (Ag M) agrupadas no sector negativo do eixo (3º quadrante). Esta oposição poderá traduzir a eventual relação entre os valores elevados de temperatura da água, (25,9 ºC) registados no Verão em oposição à oxigenação da massa de água na ausência de estratificação térmica.

A localização do pH no mesmo quadrante da temperatura (Temp), pode estar relacionada com o facto de, em termos físicos, o aumento da temperatura reduzir a solubilidade dos gases na água (Cole e Hannan, 1990), registando-se deste modo, uma redução da concentração do CO_2, com a formação de iões (OH^-) e a consequente subida dos valores do pH da água.

A precipitação acumulada no ano de 2002 foi de 703,25 mm, tendo-se registado no mês de Dezembro o valor de 163 mm (registos do DE-UE). Neste mês ocorreram períodos de intensa precipitação que aumentaram a taxa de escorrência dos terrenos adjacentes à albufeira. Esta escorrência poderá ter contribuído para a entrada de nitratos na massa de água. Este "input" pode resultar do transporte hídrico de fertilizantes químicos, compostos, fundamentalmente, por nitratos e fosfatos (Ross *et al.*, 1989), usados nas culturas de sequeiro praticadas na bacia de drenagem da albufeira. A localização dos nitratos (NO_3) e dos nitritos (NO_2) próximos das amostragens de (Dez Sup), (Dez M), (Dez F), (Jan M), (Fev F) e (Mar F), parecem confirmar esta suposição.

A localização no 2º quadrante do parâmetro oxidabilidade (Oxida) próximo das amostragens de (Set Sup), (Set M) e (Set F), pode, provavelmente, ser explicada pelo facto de nesse mês se ter registado uma precipitação elevada, 112,40 mm (registos do DE- UE), e, consequentemente, elevadas taxas de

escorrência que, por transporte hídrico, promoveram a entrada de material orgânico na massa de água.

A segunda componente (16,8% de variância) ordena no sector positivo do eixo 2 as amostragens de (Dez Sup), (Dez M), (Dez F), (Mar F), (Abr F), (Jan F), (Nov F), (Mai F, Ag F e Jun F que são "outliers"), (Nov Sup), (Nov M), (Set Sup), (Set M), (Set F), (Jul F), (Out Sup) e (Out M). Os descritores responsáveis por esta ordenação são: os sólidos suspensos totais (SST), o azoto amoniacal (NH_4), o fósforo total (TP), os ortofosfatos (P_2O_5) e o azoto de Kjeldahl (NK). No sector negativo do mesmo eixo situam-se as amostragens de (Out F), (Ag Sup), (Ag M), (Jul Sup), (Jul M), (Jun Sup), (Jun M), (Mai Sup), (Abr Sup), (Mar Sup), (Mar M), (Jan Sup), (Jan M), (Fev Sup), (Fev M), (Fev F) e (Abr M). O descritor associado a esta localização é o oxigénio dissolvido (OD mg/L).

Relativamente às amostragens, a segunda componente ordena do lado positivo do eixo 2 amostragens de Outono e Inverno e do lado negativo do mesmo eixo agrupa, maioritariamente, as amostragens de Primavera e Verão. Esta oposição parece ser explicada pela estratificação térmica que ocorre na albufeira na época de Primavera e Verão (Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto) e pela fase de mistura ou circulação que ocorre na massa de água nos meses de Outono e de Inverno.

Durante a estratificação térmica os teores de oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água são reduzidos, podendo mesmo ocorrer anóxia nas camadas mais profundas (hipolimnio). Nos lagos de águas quentes a desoxigenação das camadas inferiores do metalimnio e do hipolimnio é um fenómeno corrente (Hutchinson, 1957). As condições de anóxia favorecem a acumulação de matéria orgânica no hipolímnio, que ao ser decomposta cria condições de redução química, conduzindo à libertação de nutrientes dos sedimentos para a massa de água adjacente (Margalef, 1983 e Reynolds, 1996). Durante a fase de mistura estes nutrientes circulam na coluna de água atingindo a superfície. Este facto poderá estar relacionado com a proximidade do azoto amoniacal

(NH_4), dos ortofosfatos (P_2O_5), do fósforo total (TP) e do azoto de Kjeldahl (NK) das amostragens de (Nov F) e (Nov Sup).

Estudo referente ao ano de 2003

Nesta análise consideram-se 16 variáveis (parâmetros físico químicos): pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (temp), condutividade (conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2).

Os indivíduos ou objectos considerados são: Janeiro (Jan), Fevereiro (Fev), Março (Mar), Abril (Abr), Maio (Mai), Junho (Jun), Julho (Jul), Agosto (Ag), Setembro (Set), Outubro (Out) e Novembro (Nov). Para todos os meses foram recolhidas amostras a três profundidades designadas por superfície (Sup), meio (M) e fundo (F).

Admite-se que os indivíduos têm todos o mesmo peso, $\sum_{i=1} p_i = 1$, em que p_i designa o peso do i-ésimo indivíduo.

Na Figura 29 estão representados os valores próprios para as quatro Componentes Principais da análise referente ao ano de 2003. O valor próprio é 0,491 para a primeira componente; 0,236 para a segunda componente; 0,077 para a terceira componente e 0,047 para a quarta componente.

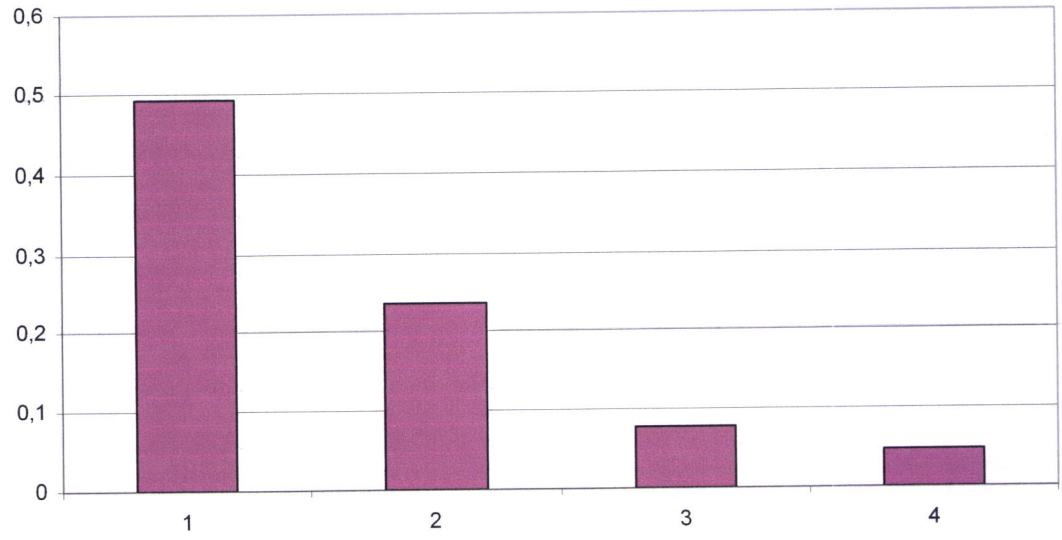


FIGURA 29 - Valores próprios para as Componentes Principais referentes ao ano de 2003

Na Figura 30 apresenta-se a projecção dos parâmetros físico químicos (pH, sólidos suspensos totais (SST), temperatura (Temp), condutividade (Conduct), dureza total, cloretos (Cl), fosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), oxidabilidade (Oxida), carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), oxigénio dissolvido (OD mg/L), azoto de Kjeldahl (NK), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2) e dos 11 meses em estudo, com amostragens a três profundidades (excepto no mês de Outubro em que a amostragem é só à superfície) na albufeira de Monte Novo.

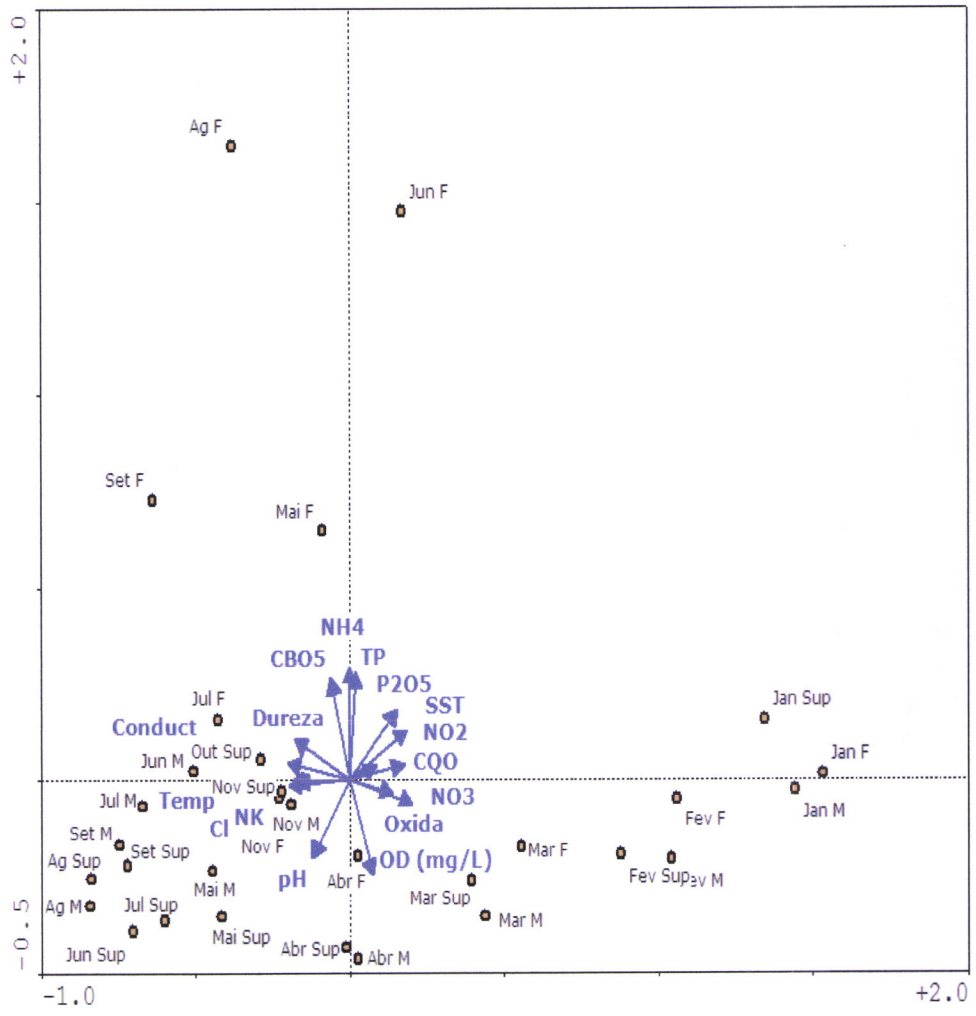


FIGURA 30 - Ordenação dos 16 parâmetros físico químicos e dos 11 meses na albufeira de Monte Novo para o ano de 2003

A primeira componente (49,1% de variância) ordena no sector positivo de eixo 1 amostragens de "meio" e "fundo": (Jan M), (Fev M), (Mar M), (Abr M), (Jan F), (Fev F), (Mar F), (Abr F), (Jun F, que é um "outlier"); e algumas amostragens de "superfície": (Jan Sup), (Fev Sup) e (Mar Sup). No sector positivo do mesmo eixo situam-se igualmente os descritores que contribuem para a ordenação, nomeadamente, os sólidos suspensos totais (SST), a carência química de oxigénio (CQO) e os nitratos (NO_3). No lado negativo do eixo 1 agrupam-se, maioritariamente, as amostragens de "superfície": (Abr Sup), (Mai Sup), (Jun Sup), (Ag Sup), (Set Sup), (Out Sup), (Nov Sup), e algumas amostragens de "meio" e de "fundo": (Mai M), (Jun M), (Jul M), (Ag M), (Set M), (Nov M), (Mai

F), (Jul F), (Ag F, que é um "outlier"), (Set F) e (Nov F). Neste sector localizam-se também os descritores que parecem condicionar esta distribuição: a dureza, a condutividade (Conduct), a temperatura (Temp), os cloretos (Cl) e o azoto de kjeldahl (NK).

Relativamente às amostragens e relacionando com a posição dos descritores observa-se uma oposição entre as amostragens de (Jan Sup), (Jan M), (Jan F), (Fev Sup), (Fev M) e (Fev F) localizadas no sector positivo do eixo 1 e as amostragens de (Mai Sup), (Mai M), (Jun Sup), (Jul Sup), (Jul M), (Ag Sup), (Ag M), (Set Sup) e (Set M), agrupadas no sector negativo do mesmo eixo (3º quadrante). Esta oposição poderá traduzir a eventual relação entre os valores elevados de temperatura da água (25,7 ºC) registados no Verão, em oposição à oxigenação da massa de água na ausência da estratificação térmica.

O valor da precipitação acumulada no ano de 2003 foi de 682,23 mm, tendo-se registado em Janeiro e Fevereiro, respectivamente, uma precipitação mensal de 101,80 mm e 81,70 mm (Departamento de Engenharia - UE). Nestes meses ocorreram períodos de intensa precipitação, que aumentaram a taxa de escorrência dos terrenos adjacentes à albufeira, o que, provavelmente, contribuiu para a entrada de nutrientes (nitratos) e material orgânico associado à matéria particulada em suspensão na albufeira. Este "input" de nitratos pode resultar do transporte hídrico de fertilizantes químicos compostos, fundamentalmente, por nitratos e fosfatos (Ross *et al.*, 1989), aplicados nas culturas de sequeiro que se praticam na bacia de drenagem da albufeira de Monte Novo. A localização dos nitratos (NO_3), da oxidabilidade (Oxida), da carência química de oxigénio (CQO) e dos sólidos suspensos totais (SST) próxima das amostragens de (Jan Sup), (Jan M), (Jan F), (Fev Sup), (Fev M) e (Fev F) parecem confirmar esta suposição.

A localização da dureza e da condutividade (Conduct), parâmetros indicadores da mineralização da água, no sector negativo do eixo 1 (no 2º quadrante), próximo da amostragem de (Out Sup) pode estar relacionada com o elevado valor da precipitação registada nesse mês, 165,4 mm (Departamento de Engenharia - UE). As águas de escorrência terão arrastado para a massa de

água iões de origem mineral, resultantes da erosão dos solos da bacia de drenagem da albufeira. Horne e Goldman (1994) referem que a condutividade é considerada um parâmetro indicador da erosão nas bacias.

A segunda componente (23,6% de variância) ordena no sector positivo do eixo 2 amostragens de (Jan Sup), (Jan F), (Jun F e Ag F são "outliers"), (Mai F), (Set F), (Jul M), (Jul F) e (Out Sup). Os descritores responsáveis por esta ordenação parecem ser: os ortofosfatos (P_2O_5), o fósforo total (TP), o azoto amoniacal (NK) e a carência bioquímica de oxigénio (CBO_5). No sector negativo do mesmo eixo localizam-se as amostragens de (Nov Sup), (Nov M), (Nov F), (Jul Sup), (Jul M), (Set Sup), (Set M), (AG Sup), (Ag M), (Jun Sup), (Mai Sup), (Mai M) e (Abr Sup). Os descritores responsáveis por esta localização são o pH e o oxigénio dissolvido (OD mg/L).

Relativamente às amostragens, a oposição entre os sectores positivo e negativo do eixo 2 pode estar relacionada com a estratificação térmica que ocorre na albufeira na Primavera e Verão (Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro) e a fase de mistura ou circulação que ocorre na massa de água no Outono e Inverno.

Durante a estratificação térmica os teores de oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água são reduzidos, podendo mesmo ocorrer anóxia nas camadas mais profundas (hipolimnio). Nos lagos de águas quentes a desoxigenação das camadas inferiores do metalimnio e do hipolimnio é um fenómeno corrente (Hutchinson, 1957). A situação de anóxia leva à acumulação de matéria orgânica no hipolímnio. A decomposição da matéria orgânica cria condições de redução química, que levam à libertação de nutrientes dos sedimentos, para a massa de água adjacente (Margalef, 1983 e Reynolds, 1996). Durante a fase da mistura estes nutrientes circulam na coluna de água atingindo a superfície. Este facto poderá explicar a localização dos ortofosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP) e azoto amoniacal (NH_4) no sector positivo do eixo 2.

Nos três anos de estudo a segunda componente expressa o gradiente vertical, que se reflecte, principalmente por influência da estratificação química na

albufeira. Esta componente representa também a importância das condições redutoras que se observam no hipolímnio, com a consequente libertação de nutrientes do sedimento.

Em síntese, observando as Figuras 26, 28 e 30, verifica-se uma consistência no posicionamento relativo dos seguintes indivíduos (ou objectos) e variáveis:

2º Quadrante		1º Quadrante	
Indivíduos	Variáveis	Indivíduos	Variáveis
	Dureza	**Jan F**	**SST**
	Conduct		**P2O5**
	CBO5		**TP**
			NO2
3º Quadrante		4º Quadrante	
Indivíduos	Variáveis	Indivíduos	Variáveis
Mai Sup	**Temp**	**Mar M**	**NO3**
Jun Sup	**pH**	**Mar Sup**	
Jul Sup		**Abr M**	
Ag Sup			
Ag M			

Esta interpretação sugere a existência de um ciclo anual de evolução da qualidade da água que vai sendo explicado por diferentes variáveis, nomeadamente, sólidos suspensos totais (SST), ortofosfatos (P_2O_5), fósforo total (TP), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), temperatura (Temp), pH, carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), conductividade (conduct) e dureza (Figura 31).

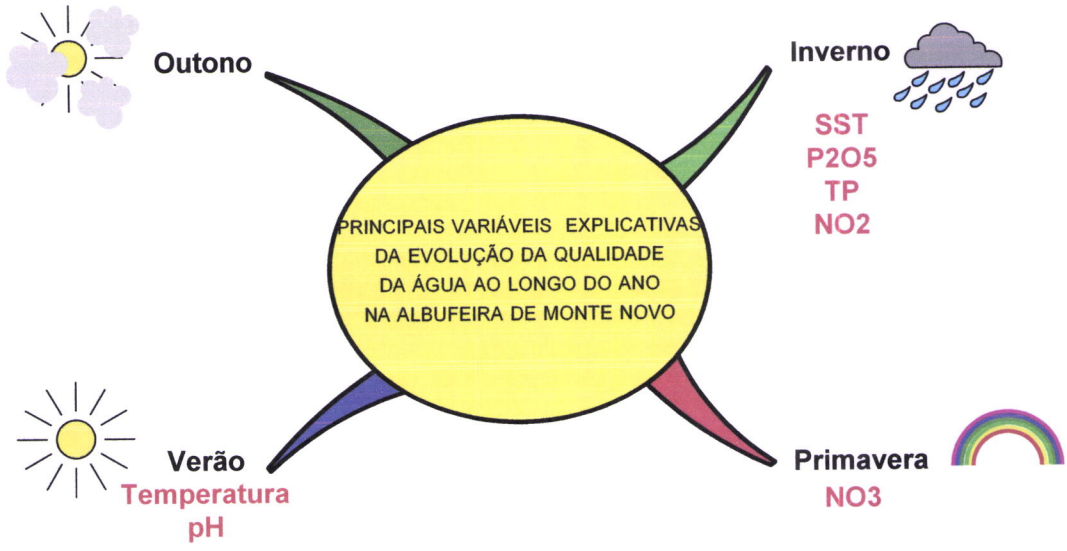


FIGURA 31 – Principais variáveis explicativas da evolução da qualidade da água ao longo do ano na Albufeira de Monte Novo

5. CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA RELATIVAMENTE AOS USOS E AO ESTADO DE CONTAMINAÇÃO E DE EUTROFIA

Presentemente assiste-se a uma enorme preocupação mundial com a qualidade das águas superficiais. O crescimento da população associado ao desenvolvimento tecnológico aumentam o consumo da água, contribuindo, também, para a sua progressiva degradação (Morais *et al.*, 2003).

As massas de água contidas em albufeiras apresentam, geralmente, variações qualitativas, consoante a época do ano e o estado de poluição da respectiva bacia hidrográfica.

Em Portugal, a entrada na água de efluentes sem tratamento, ou com tratamento inadequado, provenientes de agregados urbanos, da indústria e da agricultura, constituem uma importante causa da degradação da qualidade da água (Morais *et al.*, 2003). No Alentejo, região do país, onde ocorrem significativos problemas de qualidade de água, estes devem-se, em grande parte, à afluência de nutrientes com origem na actividade agrícola, cujas práticas associadas às características do solo e ao regime hidrológico torrencial, favorecem o arrastamento de nutrientes para as massas de águas superficiais (Diogo *et al.*, 2003).

A qualidade da água destinada à produção de água para consumo humano é definida com base em critérios de saúde pública, e encontra-se regulamentada a nível comunitário pelas Directivas 75/440/CEE e 79/869/CEE, transpostas para o normativo nacional através de Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Para evitar a utilização indiscriminada de origens de água, a legislação fixa os principais parâmetros de qualidade a observar, aos quais correspondem esquemas de tratamento capazes de garantir a produção de água com qualidade para o consumo humano (http://www.ccdr-a.gov.pt/).

5.1 Classificação da água relativamente aos usos

No Quadro 8, apresenta-se a classificação da água da albufeira de Monte Novo, nos anos de 2001,2002 e 2003, relativa a águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, segundo o Decreto-Lei 236/98, (classe A1, classe A2 e classe A3), assim como os parâmetros responsáveis por essa classificação.

QUADRO 8 - Classificação da água da albufeira do Monte Novo, relativa a águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, nos anos de 2001, 2002 e 2003, e parâmetros responsáveis pela classificação (Decreto-Lei 236/98)

Ano	Classificação	Parâmetros responsáveis
2001	>A3	Carência química de oxigénio (CQO) pH
2002	A3	Carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) Fenóis
2003	>A3	Oxigénio dissolvido (% sat)

Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/

Observando o Quadro 8 verifica-se que em 2001 a água da albufeira é classificada como >A3 (pior que A3), devido aos parâmetros carência química de oxigénio (CQO) e pH. O valor mais elevado da carência química de oxigénio (34,9 mg/L O_2) regista-se em Setembro (Figura 13), e pode indicar a presença de matéria orgânica na água. Em relação ao pH, os valores mais elevados

registam-se nos meses de Verão (Figura 9), provavelmente devido à redução dos teores de CO_2 na água, em consequência da fotossíntese que, dadas as condições climáticas da região, é bastante intensa nesta época do ano.

No ano de 2002 a água foi classificada como A3 e os parâmetros responsáveis pela classificação foram a carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) e os fenóis. O valor mais elevado de CBO_5 (9 mg/L O_2) registou-se em Outubro (Figura 14) e pode ser indicativo da presença de matéria orgânica na água. Os "picos" de fenóis que se observaram, resultam, provavelmente, das actividades agrícolas praticadas na bacia da albufeira. Um relatório do IMAR explica os "picos" de fenóis (C_6H_5OH), detectados nas albufeiras do Roxo e Santa Clara, com o uso dos pesticidas na agricultura que se pratica na zona envolvente destas albufeiras (http://www.drarn-a.pt/imar/rl_05.htm). A mesma explicação poderá ser aceite para o caso de Monte Novo, uma vez que esta albufeira também está inserida numa zona essencialmente agrícola.

Em 2003 a água da albufeira continuou a ser classificada de A3, neste ano devido ao parâmetro oxigénio dissolvido (% sat.), que em Novembro apresentou o valor de 46 % sat. O_2. Sendo Novembro, um mês em que na albufeira já se desfez a estratificação térmica, estando em plena "circulação outonal" (Figura 7), fase em que a matéria orgânica, inicialmente acumulada no sedimento de fundo, circula pela massa de água, sendo provável que a redução dos níveis de oxigénio resulte de fenómenos de oxidação.

No período de estudo a água da albufeira de Monte Novo foi classificada como A3, o nível mais elevado de contaminação; sendo em 2001 classificada como "pior que A3". Os parâmetros responsáveis pela classificação parecem indiciar a existência de contaminação orgânica na água da albufeira de Monte Novo.

Segundo o decreto-lei 236/98, a uma água classificada como A3 deverá ser feito um tratamento físico, químico, de afinação e desinfecção, uma vez que se destina à produção de água para consumo humano. Os parâmetros responsáveis pela classificação indiciam a existência de contaminação orgânica na água da albufeira de Monte Novo.

5.2 Classificação qualitativa da água para usos múltiplos

A classificação das águas superficiais de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos permite obter informação sobre os usos que potencialmente podem ser considerados na massa de água classificada.

De acordo com o sistema de classificação da água para usos múltiplos, desenvolvido e proposto pelo INAG, e aplicado pela DRARN-A, os valores obtidos para os parâmetros oxidabilidade, azoto amoniacal, oxigénio dissolvido (% sat.) e carência química de oxigénio, reflectiram-se na classificação da água da albufeira de Monte Novo, durante o período em estudo, tal como se pode observar no Quadro 9.

QUADRO 9 - Classificação qualitativa da água da albufeira de Monte Novo nos anos de 2001, 2002 e 2003, de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos

Ano	Classe	Parâmetros responsáveis
2001	C (Poluído)	Oxidabilidade Azoto amoniacal Oxigénio dissolvido (% sat.) Carência química de oxigénio
2002	C (Poluído)	Oxidabilidade Carência química de oxigénio
2003	C (Poluído)	Oxigénio dissolvido (% sat.)

Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/)

Durante os três anos de estudo (2001, 2002 e 2003) a água da albufeira de Monte Novo é classificada como classe C "Poluída". De acordo com as características de qualidade da água para usos múltiplos, uma água classificada como C é uma água poluída e, segundo o INAG, *considerada com qualidade "aceitável", suficiente para irrigação, para usos industriais e produção de água potável após tratamento rigoroso. Permite a existência de vida piscícola (espécies menos exigentes) mas com reprodução aleatória; apta para recreio sem contacto directo.*

Tal como se verificou na classificação segundo o Decreto-Lei n.º236/98, também na classificação da qualidade da água para usos múltiplos os parâmetros indicadores da presença de matéria orgânica (oxidabilidade, CQO e CBO_5) influenciaram a classificação da água. Este facto sugere a existência de contaminação orgânica, que resulta, provavelmente, do tipo de fontes poluidoras identificadas na bacia de drenagem da albufeira de Monte Novo (Figura 3).

5.3. Classificação do estado trófico

A *eutrofização natural* é um processo bastante lento, associado ao tempo de evolução dos ecossistemas. Contudo, nas últimas décadas tem-se verificado que esse processo vem sendo acelerado pela intervenção humana, principalmente, em massas de água cujas bacias sofrem a ocupação de actividades industriais, agrícolas ou de zonas urbanas. A aceleração do processo natural de eutrofização, tem como consequência uma rápida degradação da qualidade da água (Anderson, 1995).

A *eutrofização cultural*, fenómeno associado a actividades humanas, é bastante rápido, e resulta do enriquecimento da massa de água em nutrientes. A entrada de nutrientes numa albufeira, essencialmente, azoto e fósforo, aumenta a produtividade primária e leva ao esgotamento do oxigénio nas camadas mais profundas, provocando alterações gerais no metabolismo aquático (Ferreira, 2002).

Em albufeiras não eutrofizadas (com baixo teor de nutrientes) e com estratificação térmica, o epilímnio (acima da termoclina) é a zona de produção de matéria orgânica e no hipolímnio (zona abaixo da termoclina) ocorre a oxidação da matéria orgânica e o retorno ao meio ambiente dos elementos na forma mineral. Nos sistemas em que a produtividade é mais elevada há uma maior produção de matéria orgânica e, consequentemente um maior consumo de oxigénio na sua oxidação, o que vai provocar o esgotamento do oxigénio nas camadas mais profundas. As condições de anóxia que ocorrem no hipolímnio, levam à acumulação de matéria no sedimento de fundo.

Os nutrientes entram na massa de água pontualmente em locais identificados (poluição pontual), ou por via difusa (poluição difusa) que tem origem, fundamentalmente, na agricultura, devido ao uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, efluentes, resíduos de produção animal e escorrências superficiais (Quadrado, 1990).

Na gestão correcta das albufeiras o controle das fontes de poluição é um factor determinante na preservação da qualidade da água, uma vez que a eutrofização reduz o valor biológico, económico e estético das massas de água, provocando a diminuição da sua potabilidade e insalubridade. Embora, presentemente, o controle da poluição pontual não levante grandes problemas, o mesmo não se pode afirmar em relação à poluição de origem difusa, cujo controle se torna bastante difícil, na medida em que, as emissões são determinadas não só pela quantidade e distribuição das fontes poluidoras, mas também pelas condições que afectam o transporte de azoto e fósforo para as massas de água (Diogo *et al.*, 2003).

Nas albufeiras do Alentejo assiste-se a uma aceleração no sentido crescente do estado trófico, resultante da *eutrofização cultural*, com a consequente degradação da qualidade da água. No ano hidrológico de 2000/2001, a Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo elaborou um estudo para avaliação do estado trófico de 21 albufeiras da região e os resultados obtidos mostraram que, apenas 5 apresentavam mesotrofia, sendo as restantes classificadas de eutróficas.

O conceito de estado trófico de uma massa de água engloba, não só, as concentrações de nutrientes, mas também a sua produtividade. Assim, o estado trófico deve ser determinado a partir dos elementos que indicam o aumento em nutrientes, ou deste resultam, nomeadamente o teor em fósforo da água, a transparência da água, a depleção de oxigénio no hipolímnio durante a estratificação, a biomassa clorofilina e a densidade fitoplanctónica (Ferreira, 2002).

A grelha de classificação adoptada pelo INAG para Portugal em 2001 (Quadro 10), considera três estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Os parâmetros utilizados na classificação são: o fósforo total, a clorofila *a* e o oxigénio dissolvido (% saturação).

QUADRO 10 – Grelha de classificação do estado trófico adoptada pelo INAG para Portugal em 2001

Parâmetro	Oligotrófico (O)	Mesotrófico (M)	Eutrófico (E)
Fósforo total (mg/m^3 P)	>10,0	10 – 35	>35
Clorofila *a* (mg/m^3)	>2,5	2,5 – 10	>10
Oxigénio Dissolvido (% sat.)			<40

Nota: Os valores correspondem a médias geométricas

Conformidade: A classe atribuída corresponde ao valor mais desfavorável

Fonte: DRARN-A (http://www.ccdr-a.gov.pt/)

Fósforo Total

Na Figura 32.1 apresenta-se a evolução anual do fósforo total na albufeira de Monte Novo em 2001. Verifica-se que os valores da concentração do fósforo são, em geral, mais elevados nos meses de Outono e Inverno. Este facto resulta, provavelmente, de entradas de fósforo provenientes das águas de

escorrência em período de chuva. Os valores mais baixos de fósforo registam-se, habitualmente, nos meses de Primavera e Verão, época do ano de maior actividade primária, tendo este sido, provavelmente, assimilado pelos produtores primários.

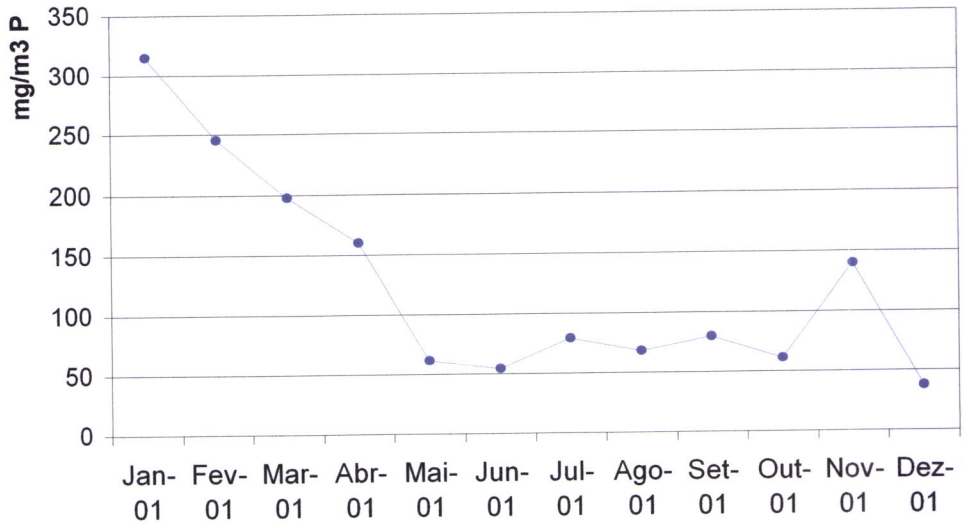


FIGURA 32.1 - Evolução anual do fósforo total na água da albufeira de Monte Novo em 2001

No ano de 2001 o valor mais elevado registou-se no mês de Janeiro (315 mg/m^3 P) e o mais reduzido (61 mg/m^3 P) observou-se nos meses de Maio, Junho e Outubro. O valor de 38 mg/m^3 P registado em Dezembro pode, provavelmente ser explicado pela baixa precipitação que ocorreu nesse mês (Figura 4.2), uma vez que, em 2001, se verificou uma correlação positiva significativa entre o fósforo total e a precipitação média mensal ($r=0,712$; $p<0,01$; $n=12$).

No ano de 2002 (Figura 32.2) o valor mais elevado (100 mg/m^3 de P), observou-se em Dezembro, mês em que a precipitação foi bastante acentuada (Figura 4.2), o que pode ter favorecido o transporte do fósforo, pelas águas de

escorrência para a massa de água. Este facto pode ser justificado pela correlação positiva significativa que, neste ano, se encontrou entre o fósforo total e a precipitação média mensal ($r=0,799$; $p<0,01$; $n=12$). O valor mais reduzido (20 mg/m^3) observou-se em Março.

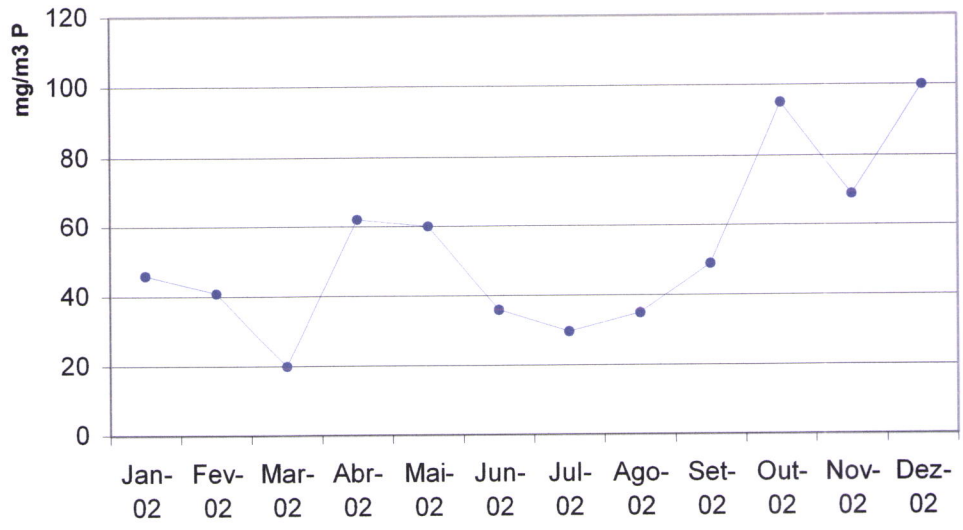


FIGURA 32.2 - Evolução anual do fósforo total na água da albufeira de Monte Novo em2002

Observando a Figura 32.3 verifica-se que no ano de 2003 o valor mais elevado (338 mg/m^3) surgiu em Janeiro, mês de intensa precipitação (Figura 4.2), e o mais reduzido (23 mg/m^3) registou-se nos meses de Junho e de Setembro.

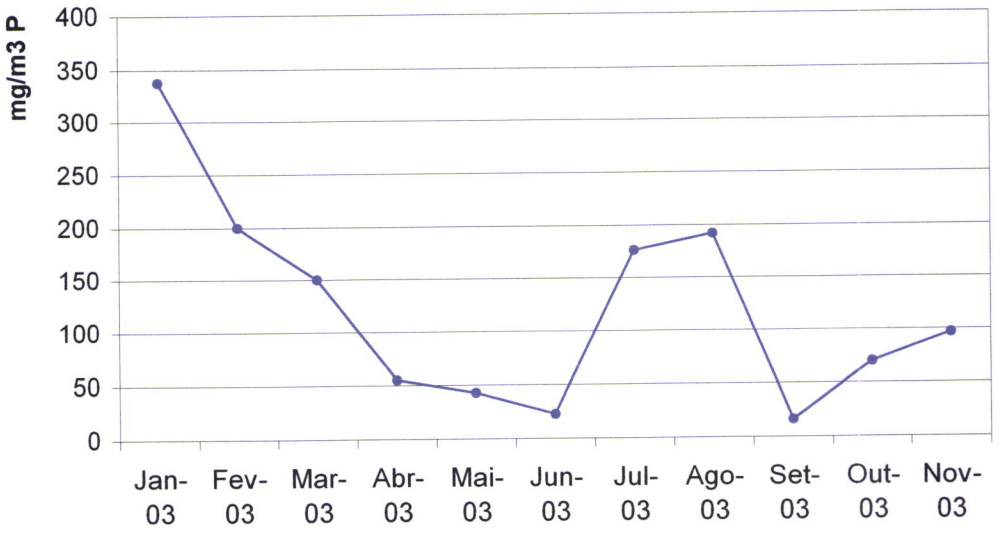


FIGURA 32.3 - Evolução anual do fósforo total na água da albufeira de Monte Novo em 2003

A correlação positiva que se verifica entre o fósforo total e a precipitação média mensal indicia que este nutriente provém, fundamentalmente, dos fertilizantes utilizados nas actividades agrícolas desenvolvidas na bacia da albufeira, entrando na massa de água através das águas de escorrência.

As médias geométricas dos valores do fósforo total na albufeira de Monte Novo, nos anos de 2001, 2002 e 2003 foram, respectivamente, 101 mg/m^3 P, 49 mg/m^3 P e em 86 mg/m^3 P. Os valores obtidos permitem considerar que o fósforo total contribuiu, nos três anos de estudo, para a classificação da albufeira com eutrófica, uma vez que, em todos eles, esses valores são mais elevados que o valor mínimo (35 mg/m^3) a partir do qual o sistema é considerado eutrófico (Quadro 10).

Clorofila-*a*

Na Figura 33.1 apresenta-se a evolução anual da clorofila *a* na albufeira de Monte Novo em 2001. Observa-se, a ocorrência de "picos" ocasionais de clorofila *a* ao longo do ano, com prevalência no Verão e início de Outono.

O aumento na concentração da clorofila *a* surge a partir de Junho, correspondendo ao aparecimento das cianobactérias (Morais *et al.*, 2003). O maior "pico" (90,7 mg/m^3) regista-se em Novembro e o mais reduzido (3,2 mg/m^3) em Janeiro.

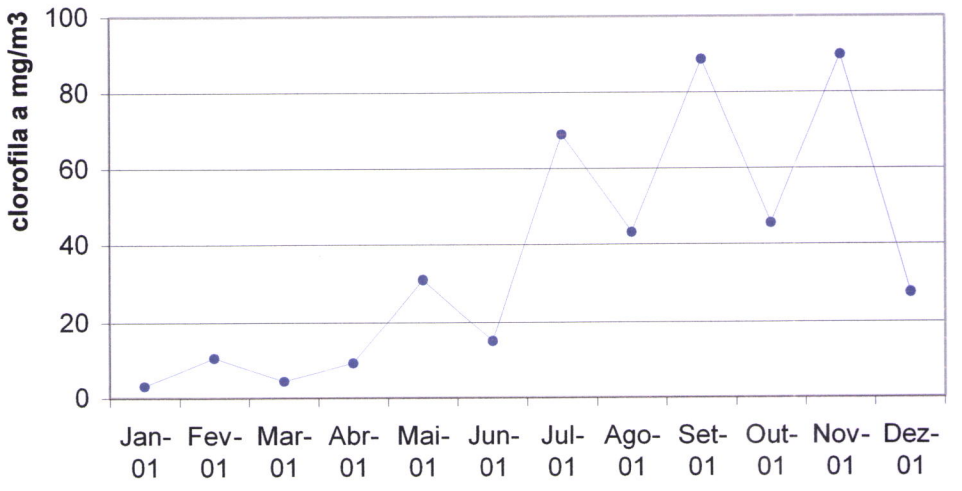


FIGURA 33.1 – Evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira de Monte de Monte Novo em 2001

Na Figura 33.2 apresenta-se a evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira de Monte Novo em 2002.

Embora neste ano não tenha sido possível obter dados da clorofila *a* para todos os meses, nomeadamente Julho e Dezembro, observa-se que os valores mais elevados continuam a registar-se no Verão e início do Outono.

Os dados disponíveis evidenciam uma subida dos valores da clorofila *a* a partir do mês de Agosto, observando-se o valor mais elevado (88,9 mg/m^3) em Outubro.

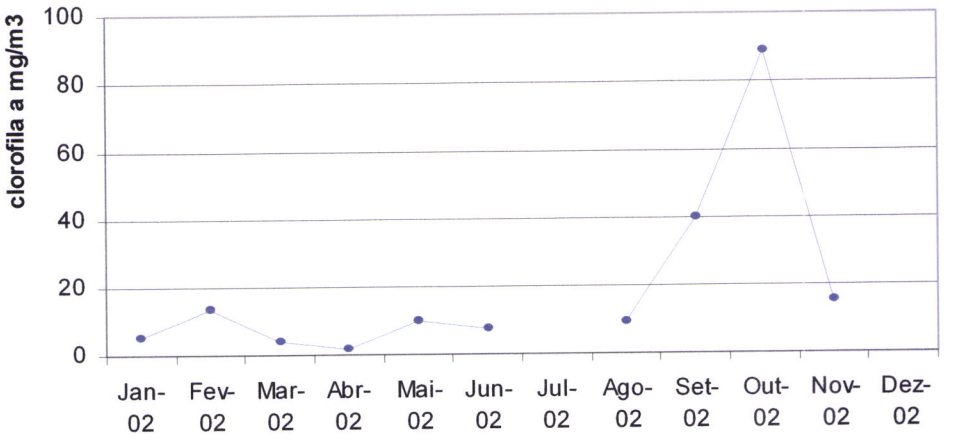


FIGURA 33.2 – Evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira de Monte Novo em 2002

Na Figura 33.3 apresenta-se a evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira de Monte Novo em 2003. Neste ano não foi possível obter os registos referentes aos meses de Julho e Agosto, o que dificultou a interpretação dos resultados, uma vez que este é, habitualmente, um período de elevada produtividade primária na albufeira.

Os dados disponíveis permitem registar um "pico" de clorofila *a* (26,04 mg/m^3) no mês de Abril. Com o aproximar do Verão seria de prever densidades de fitoplâncton elevadas, porém, em Junho registou-se o valor mais reduzido (1,2 mg/m^3) de clorofila *a*. Este facto poderá resultar da ocorrência de alguma descarga de superfície na albufeira, uma vez que as descargas eliminam por arrastamento as populações fitoplanctónicas e reduzem os nutrientes, limitando a produtividade primária nos meses seguintes (Pádua, 2001). Este processo é

usado em Inglaterra para evitar os *blooms* e manter lagos artificiais ao nível da mesotrofia (Horne e Goldman, 1994).

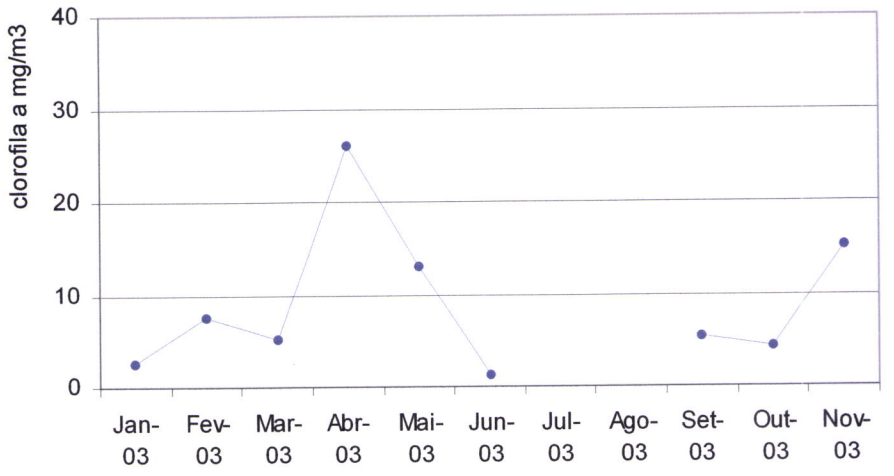


FIGURA 33.3 – Evolução anual da clorofila *a* na água da albufeira de Monte Novo em 2003

As médias geométricas dos valores da clorofila *a* na albufeira de Monte Novo, nos anos de 2001, 2002 e 2003 são, respectivamente, 22,9 mg/m^3, 10,9 mg/m^3 e 6,2 mg/m^3. Em 2001 e 2002 os valores são mais elevados que o limite mínimo a partir do qual o sistema é considerado eutrófico (10 mg/m^3). No ano de 2003 o valor obtido (6,2 mg/m^3) situa-se na gama da mesotrofia (Quadro 10).

Oxigénio dissolvido (% Sat)

Na Figura 34.1 apresenta-se a evolução anual dos teores de oxigénio dissolvido (% sat) na albufeira de Monte Novo no ano de 2001. Observa-se que durante todo o ano os níveis se mantiveram acima da gama característica de uma albufeira eutrofizada, cujo limite é <40 % sat. (Quadro 10).

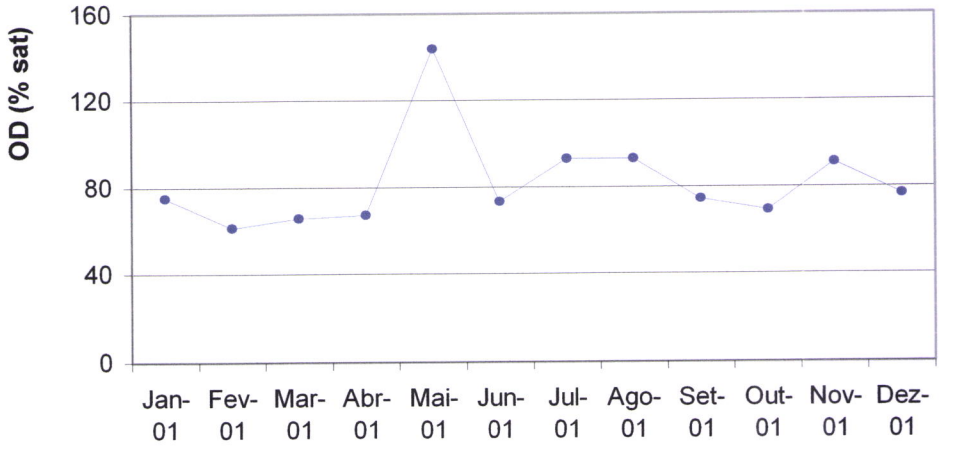


FIGURA 34.1 – Evolução anual do teor de oxigénio dissolvido (% sat) na água da albufeira de Monte Novo em 2001

Observando a Figura 34.2, verifica-se que no ano de 2002, que os níveis de oxigénio dissolvido (% sat), continuam a situar-se na gama característica de uma albufeira não eutrofizada, excepto no mês de Setembro em que se registou o valor de 35 % sat.

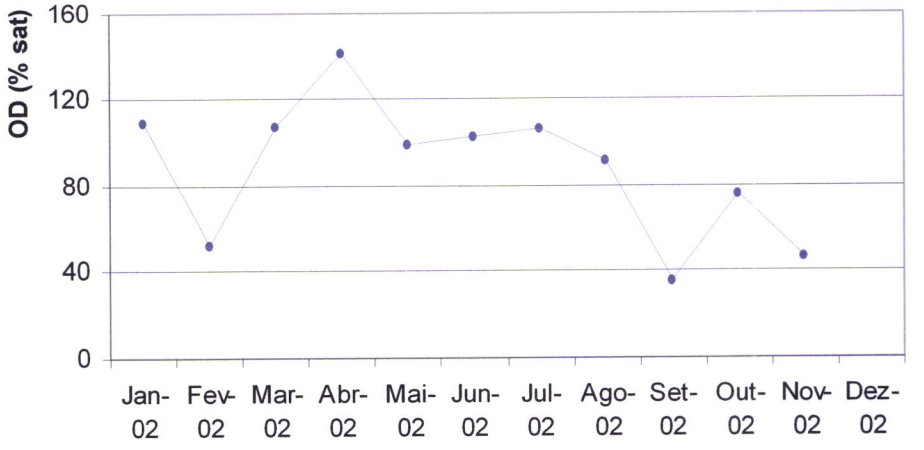


FIGURA 34.2 – Evolução anual do teor de oxigénio dissolvido (% sat) na água da albufeira de Monte Novo em 2002

No ano de 2003 não se dispõe de registos de oxigénio dissolvido (% sat.) para todos os meses, o que dificulta a interpretação dos dados. No entanto observando a Figura 34.3, verifica-se que os valores disponíveis se mantém na gama característica de uma allbufeira não eutrofizada.

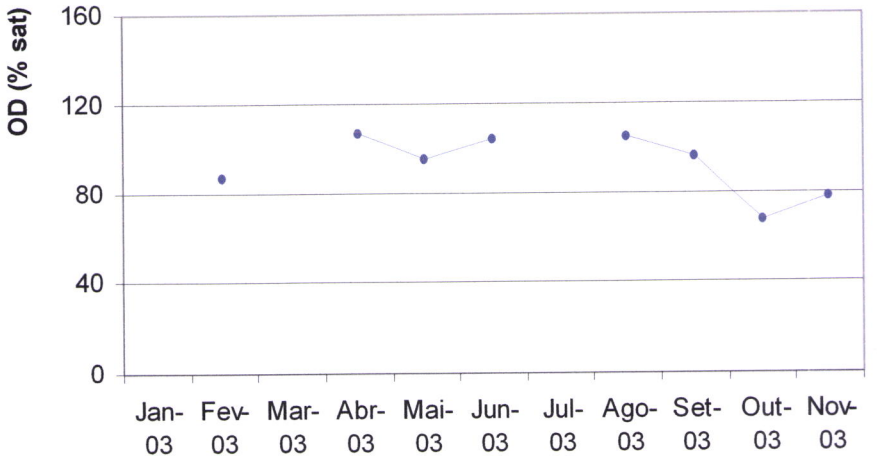


FIGURA 34.3 – Evolução anual do teor de oxigénio dissolvido (% sat) na água da albufeira de Monte Novo em 2003

As médias geométricas dos valores de oxigénio dissolvido (% sat) na água da albufeira de Monte Novo em 2001, 2002 e 2003 são, respectivamente, 79,7, 81,4 e 91,4. Os valores das médias geométricas permitem-nos considerar que durante o período de estudo os níveis de oxigénio dissolvido (% sat) se situam, em todos os anos, acima da gama característica de uma albufeira eutrofizada (<40 % sat.) (Quadro 10).

A análise dos resultados dos parâmetros utilizados na avaliação do estado trófico, levou a classificar a albufeira de Monte Novo com eutrófica nos três anos de estudo (Quadro 11). Contudo constata-se que o parâmetro oxigénio dissolvido (% sat.) nunca funcionou como critério orientador da classificação, uma vez que se manteve nos três anos em níveis característicos de uma albufeira não eutrofizada. O fósforo total com valores na gama da eutrofia, foi o

parâmetro orientador da classificação durante todo o período de estudo. Apesar de no ano de 2003 a média geométrica dos valores da clorofila *a* (6,2 mg/m^3) se situar na gama da mesotrofia (Quadro 10), a classificação da albufeira de Monte Novo continua a ser eutrófica por obrigatoriedade do parâmetro fósforo total.

QUADRO 11 – Avaliação do estado trófico da albufeira de Monte Novo, nos anos de 2001, 2002 e 2003, segundo os critérios adoptados pelo INAG (2001)

Ano	Fósforo total	Clorofila *a*	Oxigénio dissolv. (% sat.)
2001	Eutrófico	Eutrófico	
2002	Eutrófico	Eutrófico	
2003	Eutrófico	Mesotrófico	

Nos últimos anos tem-se observado na albufeira de Monte Novo uma evolução rápida no sentido da eutrofização. Um estudo realizado em 1996 concluiu que esta albufeira se situava já no limite superior da mesotrofia (Oliveira, 1996). Em 2000 a albufeira, embora classificada de eutrófica, segundo os critérios utilizados (OCDE,1982) foi considerada já no limite superior da eutrofia (Casaca, 2000). Na altura, foi referido nesses trabalhos que essa classificação resultava dos elevados teores de fósforo total registados na albufeira. No entanto, continua a assistir-se a um aumento da concentração de fósforo total na massa de água, proveniente, fundamentalmente, dos fertilizantes utilizados na agricultura desenvolvida na bacia da albufeira.

Por outro lado, concentrações elevadas de fósforo na massa de água, associadas às condições climáticas características desta região, temperaturas e insolação elevadas no Verão, favorecem a proliferação de cianobactérias na albufeira (Morais *et al.*,2003), que segundo os mesmos autores, de ano para ano parecem aumentar o seu período de ocorrência e, consequentemente, a sua abundância.

Em síntese, na albufeira de Monte Novo o fenómeno da eutrofização associado à presença das cianobactérias, torna-se preocupante, representando um grave problema de qualidade ecológica e mesmo de saúde pública, uma vez que a água da albufeira se destina ao abastecimento público. Torna-se urgente impedir que a eutrofização da massa de água continue, ano após ano, a progredir assustadoramente, com a consequente degradação da qualidade da água, e pondo em risco a sobrevivência do próprio sistema. Para tal é fundamental implementar medidas de gestão e protecção da albufeira, como por exemplo, evitar o acesso de pessoas e animais de médio e grande porte (ovinos e bovinos), eliminar as fontes de poluição pontual e fomentar as boas práticas agrícolas, no que se refere ao uso do solo e da água, e utilização de fertilizantes e pesticidas. De entre estas últimas, a título de exemplo, importa fomentar as práticas de não mobilização ou de mobilização reduzida do solo, a mobilização do solo segundo as curvas de nível (como forma de reduzir as escorrências e mitigar o poder de arrastamento de partículas e materiais), a aplicação fraccionada e criteriosa dos fertilizantes (à medida das necessidades das plantas e tendo em conta a fertilidade do solo e os nutrientes veiculados na água de rega), a aplicação cuidada e justificada dos pesticidas (práticas de protecção integrada envolvendo a definição e utilização do critério do nível económico de ataque), bem como outras medidas complementares de protecção da albufeira (faixa de vegetação de protecção em redor).

6. CONCLUSÕES

A análise global dos resultados referentes aos anos de 2001, 2002 e 2003, permitiu classificar a albufeira de Monte Novo como eutrófica, com a consequente degradação da qualidade da água.

Os factores que explicam o estado trófico da albufeira são: o clima da região, a sua morfometria, as características e uso do solo, e a presença de explorações pecuárias.

Relativamente ao comportamento térmico, a albufeira de Monte Novo evidencia o comportamento típico de um lago monomíctico quente. A temperatura da água não desce abaixo dos 4 ºC, circula livremente no Inverno e sofre estratificação térmica no Verão.

Na albufeira de Monte Novo os valores de oxigénio na coluna de água mostram um período de perfil clinogrado, coincidente com o período de estratificação térmica, e outro em que os teores de oxigénio são homogéneos, que coincide com o período de mistura.

A variação do pH na água pode ser explicada pela interacção entre diferentes mecanismos, como, a formação da estratificação térmica, com a depleção de oxigénio no hipolímnio e produção de CO_2 resultante da actividade microbiana.

A condutividade e a dureza apresentam valores relativamente elevados, o que indica uma considerável mineralização da água da albufeira de Monte Novo. Os elevados valores de condutividade poderão ser explicados pela grande susceptibilidade da bacia de drenagem à erosão o que promove a entrada de iões para a massa de água.

Os sólidos suspensos totais apresentam os valores mais elevados nas amostragens de fundo devido à deposição da matéria em suspensão, o que indica a existência de materiais finos no fundo da albufeira.

Os valores apresentados pelos parâmetros indicadores da presença de matéria orgânica no sistema (carência química de oxigénio, carência bioquímica de oxigénio e oxidabilidade) sugerem uma tendência para a acumulação de elevados teores de matéria orgânica no fundo da albufeira.

As concentrações mais elevadas de nitratos registam-se nos meses mais chuvosos, e podem estar associadas ao aumento do transporte de azoto sob a forma nítrica pelas águas de escorrência dos terrenos agrícolas.

Os nitritos, que quimicamente representam um composto intermédio, muito instável, no processo de oxidação do azoto amoniacal a nitratos, surgem em concentrações muito baixas.

Os valores mais elevados da concentração de azoto amoniacal observam-se durante o período de estratificação térmica, nas amostragens de fundo. Esta situação poderá estar associada às condições de anóxia que, neste período, se verificam nas camadas mais profundas da albufeira.

O azoto de Kjeldahl apresenta uma tendência para valores mais elevados em profundidade o que poderá indiciar uma acumulação de matéria orgânica no fundo da albufeira.

Relativamente ao fósforo total, são registadas à superfície concentrações elevadas durante os meses de Inverno. Este facto pode estar relacionado com a precipitação que geralmente ocorre nessa época do ano, sugerindo a entrada externa de fósforo na massa de água. Nos três anos de estudo os valores de fósforo total foram, em todos eles, superiores ao limite mínimo a partir do qual o sistema é classificado de eutrófico.

A concentração dos fosfatos na albufeira apresenta valores elevados, representando por vezes mais de 50% do fósforo total. Os valores mais elevados ocorrem em profundidade, principalmente nos meses de Verão, devido, provavelmente, à libertação de fosfatos do sedimento de fundo. Nos

meses chuvosos registam-se valores elevados de fosfatos à superfície, que podem resultar das escorrências de origem agrícola.

Na albufeira de Monte Novo a contribuição do fósforo de origem agrícola é bastante significativa no enriquecimento da massa de água. O regime hidrológico da região caracterizado por períodos relativamente longos de fraca pluviosidade, sucedidos de forte precipitação, leva ao arrastamento de sedimentos do solo e ao consequente enriquecimento da massa de água com os nutrientes depositados no solo. Uma vez na albufeira, o fósforo solúvel está imediatamente disponível para ser consumido pelas algas, enquanto que grande parte do fósforo particulado se deposita no sedimento de fundo, podendo, posteriormente, tornar-se disponível para absorção biológica.

Nos três anos de estudo o valor médio da relação N:P é inferior a 16, o que mostra que, na albufeira de Monte Novo, o azoto é o factor potencialmente limitante da produtividade primária.

Os valores mais elevados de clorofila *a* observaram-se, sobretudo no Verão e início do Outono, época do ano de maior luminosidade e temperaturas mais elevadas. Nos anos de 2001 e 2002 os valores da clorofila *a* contribuíram para a classificação da albufeira como eutrófica. Em 2003 os valores foram mais reduzidos, situando-se na gama da mesotrofia.

Em relação aos coliformes totais, os resultados obtidos ao longo do período de estudo, permitiram observar densidades de unidades formadoras de colónias de coliformes totais relativamente baixas.

Segundo o Decreto-Lei 236/98 a água da albufeira foi classificada, nos três anos de estudo, como A3, que corresponde ao nível mais elevado de contaminação, à qual deverá ser feito um tratamento físico, químico de afinação e desinfecção, uma vez que se destina à produção de água para o consumo humano. De acordo com as características de qualidade da água para usos múltiplos foi incluída na classe C, uma água poluída que, segundo o INAG é *considerada com qualidade "aceitável", para usos industriais e*

produção de água potável após tratamento rigoroso. Permite a existência de vida piscícola (espécies menos exigentes) mas com reprodução aleatória; apta para recreio sem contacto directo. Como as duas classificações foram influenciadas por parâmetros indicadores da presença da matéria orgânica, é provável a existência de contaminação orgânica na albufeira.

A albufeira foi classificada de eutrófica, nos três anos de estudo, e o parâmetro orientador dessa classificação foi, em todos os anos, o fósforo total. A clorofila *a* nos anos de 2001 e 2002 situou-se na gama da eutrofia e em 2003 da mesotrofia. O oxigénio dissolvido apresentou, em todos os anos, valores característicos de uma albufeira não eutrofizada.

As características climáticas da região associadas aos elevados valores da concentração em fósforo total favorecem a proliferação das cianobactérias na albufeira de Monte Novo durante o Verão, com os graves riscos de saúde pública que este fenómeno representa. No ano de 2001, durante o período em que as cianobactérias começaram a evidenciar o seu desenvolvimento (mais de 2000 células/mL), foi detectada toxicidade na água da albufeira.

Apesar de a albufeira de Monte Novo já se encontrar eutrofizada, com a consequente degradação da qualidade da água é importante que sejam implementadas medidas de gestão e protecção, para evitar que a situação se agrave, o que poderia ter consequências muito graves no abastecimento público.

Algumas medidas que se consideram essenciais tomar a muito curto prazo estão regulamentadas no Plano de Ordenamento da Albufeira de Monte Novo (POAMN), publicado no Diário da República n.º 187 de 14 de Agosto de 2003 (I Série B), e são as seguintes:

- vedar a albufeira de modo a impedir ao livre circulação em torno do plano de água, que corresponde a toda a área passível de ser ocupada pela albufeira;
- proibir a prática de campismo e a pesca com recurso à utilização de engodos;

- interditar o acesso e permanência de gado nas margens da albufeira;
- proibir a instalação de explorações pecuárias intensivas e fomentar a utilização de boas práticas agrícolas, no que diz respeito ao uso do solo, utilização de fertilizantes e pesticidas na zona de protecção da albufeira.

Numa perspectiva de investigação futura um estudo inter-anual, a longo prazo, da interacção entre a bacia de drenagem e a massa de água seria fundamental para um melhor entendimento do fenómeno da eutrofização associado à proliferação de cianobactérias (*blooms)* situação que, ano após ano, se vem agravando na albufeira de Monte Novo, podendo vir a pôr em risco a sua utilização no fornecimento de água para o abastecimento público.

BIBLIOGRAFIA

AFONSO, J. R. (1998). Barragens e Ambiente. *Introdução ao Seminário Barragens e Ambiente.*

ANDERSON, N. J. (1995). Temporal scale, phytoplankton ecology and palaeolimnogy . *Freshwat. Biol.*, **34**: 367-378.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed.. Washington DC.

AZEVEDO, A. L. (1971). A classificação climática de Köppen. *Agrossilva*, **2** (2): 55-60.

BARBOSA, F. M. C. (1987). *Contribuição para o estudo ecológico das albufeiras do Monte Novo e do Divor, em relação com a situação biofísica das suas bacias hidrológicas.* Trabalho de fim de curso. Arquit. Paisagística, Universidade de Évora.

BERNER, E. K. e BERNER, R. A. (1996). *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles.* Prentice Hall. New York.

CASACA, M. H. (2000). *Caracterização da Comunidade Fitoplântonica de seis albufeiras do Sul de Portugal.* Tese de fim de Curso de Biologia, Universidade de Évora.

CHAPMAN, D. (1996). *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring,* 2nd ed.. Chapman & Hall, London.

COLE, T. M e HANNAN, H. H. (1990). Dissolved Oxygen Dynamics. *In* Thornton, Kimmel Payne (eds.). *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives.* Wiley Interscience, New YorK.

COOKE, G. D.; WELCH, E. B.; PETERSON, S. A. e NEWROTH, P. R. (1993). *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs,* 2nd ed.. Lewis Publishers, Boca Raton.

DE MARSILY, G. (1995). L´E*au.* Flammarion, Paris.

DIOGO, P. A.; COELHO, P. S.; ALMEIDA, M. C.; MATEUS, N. S. e RODRIGUES, A. C. (2003). Estimativa de Cargas Difusas com Origem Agrícola da Bacia Hidrográfica do Rio Degebe. 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cidade da Praia, Cabo Verde.

DGRAH, DIRECÇÂO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (1976). *Abastecimento de água a Évora: barragem de Monte Novo.* Ministério das Obras Públicas.

DRARN-A, DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO ALENTEJO. http://www.ccdra-a.gov.pt/

FERREIRA, M. T. (2001 a). Bases ecológicas e metodológicas para a gestão de sistemas fluviais. Actas do II Congresso Ibérico Planeamento e Gestão da Água, Porto.

FERREIRA, M. T. (2002). Estado trófico de albufeiras: 11.3-11.13. *In* I. Moreira, M. T .Ferreira, R. Cortes, P. Pinto e P. R. Almeida (eds.). *Ecossistemas Aquáticos e Ribeirinhos: Ecologia, Gestão e Conservação.* Instituto da Água, Lisboa.

FORD, D. E. (1990). Reservoir Transport Processes, pp: 15-42. *In* Thornton, Kimmel Payne (eds.). *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives.* Wiley Interscience, New York.

GOLTERMAN, H. L (1975). Physiological Limnology. Ven Te Chow (ed.). *Developments in Water Science,* 2. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

GOUDIE, A. (1993).*The Human Impact on the Natural Environment.* 4th ed. Blackwell Publishers Ltd, Oxford.

GRIFFITHS, W.; HILL, R. e JUDGE, G. (1993). *Learning and Practicing Economitries.* John Wiley & Sons, Inc., New York.

GUERREIRO, N e PEREIRA, P. B. (2002). *Poluição e Qualidade da Água.* Noémia Guerreiro e Paula B. Pereira (eds.). Instituto da Água, Lisboa.

HORNE, A. J. e GOLDMAN, C. R. (1994). *Limnology.* 2nd ed.. McGraw-Hill, Inc., New York.

HUTCHINSON, G. E. (1957). *A Tretrise on Limnology: Geography, Physics and Chemistry.* Volume I. John Wiley & Sons, Inc., New York.

INAG, INSTITUTO DA ÁGUA (1995). *Exploração das Principais Albufeiras de Portugal Continental* – 1994. Ministério de Ambiente, Lisboa.

INAG, INSTITUTO DA ÁGUA (2003). *Classificação da Qualidade das Águas Superficiais* [online]. www.inag.pt.

INMG, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA (1991). *O Clima de Portugal.* Normas climatológicas da região de "Alentejo e Algarve", correspondentes a 1951-1980.

KIM, B; PARK, J.-H.; HWANG, G.; JUN, M.-S. e CHOI, K. (2001). Eutrophication of Reservoirs in South Korea. *Limnology* **2**: 223-229.

LÆGREID, M.; BØCKMAN, O. C. e KAARSTAD, O. (1999). *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. CABI Publishing in association with Norsk Hydro ASA. University Press, Cambridge

LINCE DE OLIVEIRA, J. A. (1973). *Elementos para a Ecologia Florestal*. Instituto Superior de Agronomia.

MARGALEF, F (1980). *Ecologia*. Ómega Ed., Barcelona.

MARGALEF, R. (1994). The place of continental waters in global ecology, pp: 1-8. *In* Margalef (ed.). Elsivier, New York.

MORAIS, M. M. (1995). *Organização espacio temporal de um rio temporário mediterrânico (rio Degebe, Bacia Hidrográfica do Guadiana)*. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora.

MORAIS, M.; PINTO, P.; SAÚDE, A C.; CAEIRO, J. e PINTO, V. (2002). Qualidade Ecológica de Águas Interiores Superficiais, pp: 55-102. *In*: *Água recurso a preservar*. Anais da Universidade de Évora, **10-11** (2000-2001).

ODUM, E. (1971). *Fundamentos de Ecologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

OLIVEIRA, M. R. L. (1996). Composição do fitoplâncton e dinâmica de Cyanophiceae tóxicas numa albufeira de abastecimento público. *Bol. Inst. Port. Invest. Marít.*, **2**: 55-70.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPEMENT (OCDE) (1982). *Eutrophication of Waters. Monitoring Assessment and Control*, OCDE, Paris.

PÁDUA, J. (2001). *Comparação Ecológica entre as albufeiras do Divor e de Monte Novo*. Tese de fim de Curso de Biologia da Universidade de Évora.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. Thomas e VANCE, G. F. (2000). *Soils And Environmental Quality*, 2nd ed.. CRC Press, Boca Raton, Florida.

PINHEIRO, A. e GALEGO, M. A. (1999). *Econometria*. Manuais da Universidade de Évora.

QUADRADO, M. F. (1990). *As albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo: uma revisão bibliográfica – Anexo*. Relat. Nº2-A/IV Série, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Projecto Tejo, Lisboa.

REIS, E. (1997). *Estatística multivariada aplicada*. Sílabo

REYNOLDS, C. S. (1996). Phosphorous recycling in lakes: evidence from large limnetic enclosures for the importance of shallow sediments. *Freshw. Biol.*, **14**: 623-645.

ROSS, C. C.; HARPER, S. R. e VALENTINE, G. E. (1989). Agricultural waste. *Jounal WPCF*, **61** (6): 863-872.

SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL; R. W. e KLEINMAN, P. J. A. (2001). Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, **237:** 287-307.

STUMM, W e MORGAN, J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equlibrium and Rates in Natural Waters*. 3rd ed.. John Willey & Sons, New York.

THOMANN, R. V. e MUELLER, J. (1987). *Principles of Surface Water Quality modeling and control*. Harper and Row Publishers, New York.

THORNTON, K. W. (1990). *Reservoir Limnology: Ecological* Perspectives. Thornton, Kimmel Payne (eds.). Wiley Interscience, New York.

TUSSEAU-VUILLEMIN, M.-H. (2001). Do Food Processing Industries Contribute to the Eutrophication of Aquatic Systems?. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **50**: 143-152.

WETZEL, R (1993). *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

WILSON, H. (1999). Legislative challenges for lake eutrophication control in Europe. *In* David M. Harper, Bill Brierley, Alastair J. D. Ferguson e Geoff Phillips (eds.). *The Ecological Bases for Lake and Reservoir Management.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

WIT, M. e BEHRENDT, H. (1999). Nitrogen And Phosphorous Emissions From Soil To Surface Water In The Rhine And Elbe Basins. *Water Science and Technology*, **39**:12, 109-116.

Outros Documentos:

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (Normas de Qualidade de Água).

Resolução do Conselho de Ministros n.º 120/2003 de 14 de Agosto (Plano de Ordenamento da Albufeira de Monte Novo).